

Ville Rautavirta

# Langattomat valonohjausjärjestelmät

## - Wireless e-Sense Connect

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Tutkinto Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

Päivämäärä 2.5.2013

Tekijä	Ville Rautavirta
Otsikko	Langattomat valonohjausjärjestelmät - Wireless e-Sense Connect
Sivumäärä Aika	82 sivua + 2 liitettä 2.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Fagerhult Oy:n toimeksiannosta. Työssä tutkittiin langattomien valonohjausjärjestelmien rakennetta ja ominaisuuksia. Työssä tarkasteltiin erityisesti, koulu- ja toimistotiloihin suunniteltua langatonta Fagerhult Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmää ja etsittiin argumentteja, jotta valaistushankintaa suunnittelevat asiakkaat valitsisivat kohteisiin langattoman valonohjausjärjestelmän tavallisten päälle ja pois -valonohjausten tai langallisten valonohjausjärjestelmien sijaan.</p> <p>Työssä selvitettiin valonohjausjärjestelmien avainmarkkinatekijät ja tutkittiin langattomien valonohjausjärjestelmien etuja langallisiin valonohjausjärjestelmiin nähden. Työssä selvitettiin langattoman e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän kustannus- ja energiansäästömahdollisuudet Aleksis Kiven koulun luokkahuoneessa, kun vertauskohteeksi asetetaan luokkahuoneen alkuperäinen ohjaamaton valaistus. Työssä selvitettiin lisäksi valaistuksen vaikutusta BREEAM-sertifioinnissa ja vihreäksi sertifioidun rakennuksen etuja.</p> <p>Työ toteutettiin suunnittelemalla Aleksis Kiven koulun luokkahuoneeseen e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmä alkuperäisen valaistuksen tilalle. Valaistuksien elinkaarikustannukset arvioitiin Fagerhult Life Cycle Cost (LCC) -elinkaarikustannuslaskurilla ja niitä verrattiin keskenään, kun pitoajaksi valittiin 20 vuotta.</p> <p>Työssä todettiin, että valonohjausjärjestelmillä on avainmarkkinatekijöitä, jotka tulevat kasvattamaan niiden markkinoita tulevaisuudessa. Työssä havaittiin, että e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän hankintahinta voidaan kompensoida sen pidemmällä aikavälillä tuomilla säästöillä ja, että järjestelmän langaton valonohjaustekniikka ei heikennä sen luotettavuutta tai käyttäjäystävällisyyttä. Työssä todettiin lisäksi, että langattomalla valonohjausteknologialla toimivan valonohjausjärjestelmän asennuskustannukset ovat pienemmät kuin langallisen valonohjausjärjestelmän asennuskustannukset.</p>	
Avainsanat	valaistus, langaton valonohjaus, energiatehokkuus, vihreä rakentaminen

Author Title	Ville Rautavirta Wireless Lighting Control Systems – Wireless e-Sense Connect
Number of Pages Date	82 pages + 2 appendices 2 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>This engineering thesis was commissioned by Fagerhult Oy. The purpose of this thesis was to study functions and structures of wireless lighting control systems and to examine the advantages of a Fagerhult Wireless e-Sense Connect lighting control system.</p> <p>The aim of this thesis was to review the key market drivers of lighting control and to find reasons why customers should choose a wireless lighting control system over uncontrolled lighting or regular wired lighting control systems. The aim of this thesis was also to investigate the energy saving capabilities of a Wireless e-Sense Connect lighting control system in a classroom environment and to study the impacts of lighting control in green building BREEAM-certifications.</p> <p>The study was implemented by designing a Wireless e-Sense Connect lighting control system into a classroom of Aleksis Kivi school and by comparing the 20-year life cycle costs of the new wireless lighting control system over the old uncontrolled lighting using Fagerhult Life Cycle Cost (LCC) -calculator.</p> <p>Results show that lighting control systems are driven by key market drivers that will increase the markets of lighting control systems in the future. Results also show that a Wireless e-Sense Connect lighting control system is a cost effective solution especially in retrofit sites, and that the wireless lighting technology of an e-Sense Connect lighting control system is reliable and user friendly. In addition, results indicate that the installation costs of a wireless lighting control system are smaller than the installation costs of a wired lighting control system.</p>	
Keywords	lighting, Wireless lighting control, energy efficiency, cost effective, green buildings

## Sisällys

### Tiivistelmä

### Abstract

### Sisällys

### Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Valonohjausjärjestelmät	2
2.1	Valonohjausjärjestelmien vaikutusmahdollisuudet	2
2.2	Yleistä tietoa valonohjausjärjestelmistä	3
2.3	Valonohjausmenetelmät	5
2.3.1	Himmennys	5
2.3.2	Poissaolovalaistus	5
2.3.3	Läsnäolo-ohjaus	5
2.3.4	Päivänvalo-ohjaus	6
2.4	Valonohjausjärjestelmien avainmarkkinatekijät	7
2.4.1	Pike Research -tutkimus	7
2.4.2	Valonohjausjärjestelmien avainmarkkinatekijät Suomessa	10
3	Valonohjausjärjestelmät ja vihreä rakentaminen	12
3.1	BREEAM-sertifiointi	12
3.2	BREEAM-sertifioinnin osa-alueet	13
3.2.1	Energiankäyttö – energia ja hiilidioksidi -osa-alue	14
3.2.2	Terveys ja hyvinvointi -osa-alue	15
3.2.3	Jätteet -osa-alue	17
3.2.4	Saasteet -osa-alue	17
3.3	Vihreän rakentamisen edut	18
3.3.1	BREEAM-sertifioinnin edut	18
3.3.2	Kestävää kehitystä tukevan valonohjausjärjestelmän edut	18

3.3.3	Valonohjausjärjestelmien kasvavat edut tulevaisuudessa	19
4	Langattomat valonohjausjärjestelmät	21
4.1	Langaton tiedonsiirto	21
4.2	Sähkömagneettinen säteily langattomassa valonohjauksessa	23
4.2.1	Mikroaallot	24
4.2.2	Infrapunasäteily	25
4.2.3	Näkyvä valo	25
4.3	Langattoman valonohjausjärjestelmän rakenne ja toiminta	26
4.4	Langattomat valonohjausprotokollat	29
4.4.1	Zigbee-protokolla	30
4.4.2	Z-Wave-protokolla	31
4.4.3	EnOcean-protokolla	32
4.5	WMesh-verkon ominaisuudet ja edut	34
5	Fagerhult Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmä	36
5.1	e-Sense Connect -järjestelmän toimintaperiaate	36
5.2	e-Sense Connect -järjestelmän komponentit	39
5.2.1	RF-yksikkö	39
5.2.2	Käyttöpaneeli	40
5.2.3	Keskusohjausyksikkö	41
5.2.4	Kauko-ohjain	42
5.3	e-Sense Connect -järjestelmän toiminnot	43
5.3.1	Läsnäolo-ohjaus	43
5.3.2	Päivänvalo-ohjaus	45
5.3.3	Manuaalinen ohjaus	47
5.3.4	Muiden järjestelmien ohjaus	48
5.4	Langaton e-Sense Connect -teknologia	48
6	Fagerhult Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän edut	52
6.1	e-Sense Connect -järjestelmän nopea ja yksinkertainen asennus	52
6.2	Langattoman järjestelmän edullisemmat asennuskustannukset	53

6.3	Langattoman e-Sense Connect -tekniikan luotettavuus	58
6.4	e-Sense Connect -järjestelmän huollettavuus	59
6.5	e-Sense Connect -järjestelmän käyttäjäystävällisyys	59
6.6	e-Sense Connect -järjestelmän monipuoliset asennusmahdollisuudet	60
6.7	e-Sense Connect -järjestelmän energiatehokkuus ja edut ympäristölle	60
6.8	Enemmän hyvinvointia ja työtehokkuutta ilman lisäkustannuksia	61
7	Wireless e-Sense Connect -valaistuksen suunnittelu luokahuoneeseen	62
7.1	SFS-EN 12464-1 -standardin valaistusvaatimukset	62
7.2	Aleksis Kiven koulun luokahuoneen valaistussuunnittelu	66
7.2.1	e-Sense Connect -järjestelmän valaisintyyppien määrittäminen	66
7.2.2	Dialux-valaistuslaskelma	69
7.2.3	Master-valaisimien määrittäminen	73
7.2.4	Elinkaarikustannuslaskelma	73
8	Yhteenveto	79
	Lähteet	80
	Liitteet	
	Liite 1. LCC-elinkaarikustannuslaskelma	
	Liite 2. Dialux-valaistuslaskelma	

## Lyhenteet ja määritelmät

BREEAM	<i>Building Research Establishment's Environmental Assessment Method.</i> BRE:n ympäristösertifiointijärjestelmä.
CRMX	<i>Cognitive Radio MultipleXer.</i> Kaksisuuntaista tiedonsiirtoa, joka merkitsee käytännössä tiedonsiirron turvaamista aina mahdollisimman hyvin perille-pääsyn turvaamiseksi.
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface.</i> Standardoitu digitaalinen ohjaus-periaate elektronisille liitäntälaitteille.
DIP-kytkin	<i>Dual In-line Package</i> -kytkin. Heikkoja virtoja ohjaava, rakenteeltaan pieni ja useampia kytkimiä sisältävä kytkin.
DMX	<i>Digital Multiplexing.</i> Digitaalinen ohjausperiaate.
E-luku	Rakennuksen kokonaisenergiankulutusta kuvaava luku (kWh/m <sup>2</sup> ), jolla tarkoitetaan energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista ostoenergian laskennallista kulutusta Suomen rakentamismääräys-kokoelmassa (Rakennusten energiatehokkuus Määräykset ja ohjeet 2012) annetuilla säännöillä ja lähtöarvoilla laskettuna lämmitettyä netto-alaa kohden.
Flash-muisti	Puolijohdemuisti, joka voidaan sähköisesti tyhjentää ja uudelleen ohjel-moida.
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying.</i> Modulaatiomenetelmä, jossa kantoaal-lon taajuutta muutetaan bitin muuttuessa.
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical.</i> Taajuusalue jonka käyttö ei vaadi erillis-tä lupaa ja on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteel-liseen käyttöön.
LCC	<i>Life Cycle Costs.</i> Elinkaarikustannukset.

LED	<i>Light Emitting Diode</i> . Loistediodi.
LENI	<i>Lighting Energy Numeric Indicator</i> . Rakennuksen vuotuista valaistusenergiaa kuvaava luku (kWh/m <sup>2</sup> /vuosi).
LOR	<i>Light Output Ratio</i> . Valaisimen hyötysuhde.
P2P	<i>Peer To Peer</i> . Vertaisverkko, jossa ei ole kiinteitä palvelimia ja asiakkaita, vaan jokainen verkkoon kytketty taho toimii sekä palvelimena että asiakkaana verkon muille jäsenille.
PIR	<i>Passive Infra red sensor</i> . Passiivinen infrapunatunnistin, joka reagoi liikkeeseen ja ihmisen ruumiinlämpöön.
Protokolla	Yhteyskäytäntö, joka määrittelee tai mahdollistaa laitteiden tai ohjelmien väliset yhteydet.
RF	<i>Radio Frequency</i> . Radiotaajuus.
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> . IEEE 802.16-standardin mukainen verkkoteknologia.
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> . IEEE 802.11-standardin mukainen lähiverkkotekniikka.
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i> . IEEE 802.15-standardin mukainen verkko, jolla erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää ilman kaapeleita.



## 1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin Fagerhult Oy:n toimeksiannosta. Fagerhult Oy on Pohjoismaiden suurimman valaistusalan yrityksen, ruotsalaisen Fagerhults Belysning AB:n omistama tytäryhtiö, joka aloitti toimintansa Suomessa vuonna 1994. Suomessa Fagerhult Oy työllistää 31 henkilöä ja kansainvälisesti yli 2 300. Fagerhult kehittää, valmistaa ja markkinoi valaisimia ja valaistusratkaisuja julkisiin tiloihin, kuten toimistoihin, kouluihin, teollisuudelle ja sairaaloille. Fagerhult Oy painottaa tuotekehityksessä tuotteiden toimivuutta, muotoilua, monipuolisuutta sekä energiaa säästäviä ratkaisuja. Fagerhult on EMAS (the Eco-Management and Audit Scheme) -rekisteröity yritys, ja sen tehtaat on sertifioitu ISO 9001 ja ISO 14001 -standardien mukaisesti.

Fagerhults Belysning AB on kehittänyt langattoman Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän, joka luo uusia mahdollisuuksia valaistusratkaisujen suunnittelemiseen. Energiatehokkuutta lisäävän ja ihmisten hyvinvointia edistävän valaistuksen lisäksi e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmällä on etuja langallisiin valonohjauksiin nähden, koska järjestelmässä olevat valaisimet ovat ohjausjohtimista vapaita. e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmä on suunniteltu käytettäväksi erityisesti toimistotiloissa ja koulujen luokahuoneissa.

Tässä insinöörityössä käsitellään e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän ominaisuuksia ja selvitetään langattoman valonohjausjärjestelmän taloudellisia ja toiminnallisia etuja säätämättömiin ja langallisiin valonohjausjärjestelmiin nähden. Työssä kerrotaan Aleksis Kiven koulun luokahuoneeseen suunnitellusta e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmästä ja etsitellään perusteita, miksi valaistushankintaa suunnittelevan asiakkaan kannattaa valita kohteeseen energiatehokas langaton valonohjausjärjestelmä perinteisen päälle ja pois -ohjauksen tai langallisen valonohjauksen sijaan. Työssä selvitetään myös valaistuksen vaikutusta rakennusten ympäristöluokitukseen sekä kestävästä kehityksestä tukevan valaistuksen etuja.

## 2 Valonohjausjärjestelmät

### 2.1 Valonohjausjärjestelmien vaikutusmahdollisuudet

Valaistus kuluttaa 14 % sähköstä EU-alueella ja 19 % sähköstä maailmassa. Noin 75 % Euroopan unionin alueen nykyisestä valaistuksesta perustuu vanhaan, energiatehokkuudeltaan heikkoon tekniikkaan. Valonohjauksen hyödyntämättömällä säästöpotentiaalilla on arvioitu voitavan säästää Euroopassa 24 miljardia euroa vuotuisissa sähkökuluissa ja 85 miljoonan tonnia hiilidioksidipäästöjä vuodessa [1.]

Valaistuksen kuluttama energia on julkisissa rakennuksissa noin 40 % niiden kuluttamasta sähköenergian määrästä. Valaistukseen kuluvan energian pienentäminen on yksi valaistusalan yritysten suurimmista haasteista. Vanhanaikaisen valonlähteen korvaaminen energiatehokkaalla LED-valonlähteellä on eräs keino pienentää energiankulutusta. Valaistukseen kuluva energiaa voidaan myös pienentää sammuttamalla valaisimia, kun niitä ei tarvita, optimoimalla valaistustasot työntekijöiden tarpeiden mukaisiksi tai vähentämällä valaistuksen kokonaismäärää. Valonohjaus on tehokkain tapa varmistaa, että tarpeetonta valaistusta vähennetään automaattisesti mahdollisimman paljon. Valonohjauksen avulla on todistettu, että julkisissa ja teollisuuden rakennuksissa valaistukseen kuluva energiaa voidaan vähentää jopa 70 % [2.]

Valonohjauksella on talousennusteiden mukaan suuri markkinapotentiaali tulevaisuudessa. Uudet kehittyneet teknologiat mahdollistavat monipuolisempaa ja kattavampaa valonohjausta. Valonohjaus voi ulottua huonekohtaisesta valonohjauksesta, koko rakennuksen kattavaan kaikkia ohjausyksiköitä ja ohjaimia yhdistävään järjestelmään. Valonohjausjärjestelmät ovat saaneet valonohjausmarkkinoilla positiivisen vastaanoton ja hiljalleen kuluttajien hyväksynnän. Rakennusten energiankulutusta koskevien määräyksien tiukentuessa valonohjaus saa yhä enemmän huomiota. Nämä tekijät antavat niille yrityksille mahdollisuuden nopeaan kasvuun, jotka pystyvät tarjoamaan tarvittavat palvelut oikeaan aikaan.

Uudet langattomat valonohjauslaitteet, LED-valaisimen ja himmennettävien liitäntälaitteiden pudonneet hinnat ovat tehneet saneerauskohteista yhä vetovoimaisempia. Saneerauskohteiden määrä on suuri maissa, joissa uudet teknologiat ovat saaneet

kuluttajien hyväksynnän. Valonohjausteknologissa jäljessä olevat maat ovat varma tulevaisuuden markkina-alue.

Hyvän valaistuksen tärkeimpiä perusvaatimuksia ovat riittävä valaistusvoimakkuus, tehokas häikäisysuojaus, oikeat pintakirkkaus- eli luminanssisuhteet, valon oikea suuntaus ja sopivat valon väriominaisuudet. Eurooppalainen standardi SFS-EN 12464-1 (Valo ja Valaistus. Työkohteiden Valaistus) määrittelee sisätyötilojen valaistusratkaisujen määrälliset ja laadulliset vaatimukset. Oikein ohjattu ja suunniteltu valaistus auttaa yksityiskohtien erottamista ja mahdollistaa vaivattoman näkemisen.

Visuaalisten tekijöiden lisäksi valaistuksella on ihmiseen biologisia ja emotionaalisia vaikutuksia. Tutkimusten mukaan hyvä valaistus saa ihmisen voimaan paremmin. Valaistuksella voidaan esimerkiksi parantaa opiskelun tehokkuutta kouluissa. Hyvin valaistussa luokkatilassa, jossa on runsaasti seiniltä ja kattopinnoilta heijastuvaa ympäröivää valoa, oppilaat ovat virkeämpiä, hyväntuulisempia, ja he saavuttavat parempia oppimistuloksia. Suurempi valaistustehon tarve on mahdollista kompensoida energia- tehokkailla valaisimilla, joten valaistuksen kokonaiskustannukset eivät ole suurempia kuin perinteisillä valaistusratkaisuilla.

## 2.2 Yleistä tietoa valonohjausjärjestelmistä

Valonohjausjärjestelmien tehtävä on toimittaa automaattisesti tarpeellinen määrä valoa valaistavaan tilaan. Valonohjausjärjestelmät on kehitetty vähentämään valaistuksen käyttökustannuksia, lisäämään tilankäytön joustavuutta, luomaan mahdollisimman miellyttävää valaistusta ja varmistamaan valon tehokkain hyödyntäminen. Valonohjauksen avulla on mahdollista sammuttaa tai himmentää valaistus silloin, kun sitä ei tarvita ja ohjata valaistusta suurissakin kiinteistöissä. Valaistuksen käyttäjät voivat järjestelmän avulla optimoida valaistustasot heidän työtehtävien tarpeiden mukaisiksi.

Valonohjausjärjestelmä on kokonaisuus, joka rakentuu valonohjausmenetelmistä sekä teknologioista ja komponenteista, joilla nämä menetelmät toteutetaan. Valonohjausjärjestelmät jakautuvat yksinkertaisista huonekohtaisista järjestelmistä älykkäisiin koko kiinteistön kattaviin järjestelmiin. Älykkäät valonohjausjärjestelmät sisältävät myös energian hallintaan liittyviä ominaisuuksia, jotka mahdollistavat järjestelmän yhdistämisen kiinteistön energiahallintajärjestelmiin. Valonohjausjärjestelmän komponenttien

välillä tapahtuva tiedonsiirto voidaan toteuttaa langallisilla tai langattomilla menetelmillä. Langallinen valonohjaus tarkoittaa, että kaikki järjestelmässä olevat valonohjauskomponentit yhdistetään toisiinsa ohjausjohtimilla. Langaton valonohjaus tarkoittaa, että järjestelmän valonohjauskomponenttien välillä tapahtuva tiedonsiirto toteutetaan radioaaltoviestinnällä.

Älykään valonohjausjärjestelmän komponentit ovat

- päälle ja pois -kytkin
- himmennin
- läsnäolotunnistin
- päivänvalotunnistin
- ajastin
- käyttöpaneeli, käyttöjärjestelmä (tietokoneohjelma) tai keskusyksikkö
- energiankulutuksen mittauskalusto.

Perinteiset valonohjausjärjestelmät ovat langallisia järjestelmiä, joissa sähkön syöttöjohtimien lisäksi valaisimet tarvitsevat ohjausjohtimet. Langallisia valonohjausjärjestelmiä on rajoittanut niiden monimutkaisuus, joustamattomuus ja joissakin tapauksissa kehnot takaisinmaksuajat. Langattomat teknologiat pystyvät laajentamaan valonohjauksen ulottuvuuksia ja tarjoavat valonohjausmahdollisuuksia yhä useammalle kuluttajalle.

Valaistuksen ohjausjohtimet nostavat valaistuksen asennuskustannuksia ja rajoittavat valaisimien sijoittelua. Energiatehokas valaistus on mahdollista rakentaa hyödyntämällä valonohjaustekniikkaa. Langallisissa valonohjausjärjestelmissä valaisimiin on liitettävä ohjausjohtimien avulla valonohjauskomponentteja kuten läsnäoloantureita ja päivänvaloantureita. Ohjausjohtimien asennus saattaa olla hankalaa erityisesti saneerauskohteissa. Suurissa valonohjauskohteissa monimutkainen langallinen valonohjausjärjestelmä voi muodostua epäedulliseksi ratkaisuksi.

## 2.3 Valonohjausmenetelmät

Valonohjausmenetelmien tarkoitus on vähentää valaistukseen kuluva energiaa ja tuottaa mahdollisimman miellyttävä valaistus. Valonohjausjärjestelmällä voidaan ohjata valaistusta yhdellä tai usealla eri menetelmällä. Energiatehokkain valaistus saadaan, kun kaikki valonohjausmenetelmät yhdistetään. Automaattisella päälle tai pois-kytkennällä ja päivänvaloanturilla varustetulla valaistuksella on mahdollista saavuttaa jopa 70 % energiansäästöt [2].

### 2.3.1 Himmennys

Valaisimen tuottaman valon kirkkautta voidaan vähentää tai lisätä säätämällä niille syötettävän jännitteen tehollisarvoa. Käyttäjä voi himmentää valaistusta seinään kiinnitetyllä pyöritettävällä himmentimellä (1–10 V:n potentiometrisäätö) tai pohjassa pidettävällä painonapilla (painonappihimmennys).

Valaistuksen himmentäminen tarkoittaa, että valaisimille syötettävää jännitteen tehollisarvoa pienennetään. Valaisimelle syötettävän jännitteen pienentyessä valaisimen valonlähde himmentyy, ja sen kuluttama teho pienentyy. Himentämisellä saavutettava energiansäästö on riippuvainen lampputyypistä. Loistelampuilla himmennuksen vaikutus tehon kulutukseen on lähes lineaarista.

### 2.3.2 Poissaolovalaistus

Valonohjausjärjestelmät hyödyntävät automaattista himmennystä poissaolovalaistuksessa. Poissaolovalaistus himmentää valaistusta halutulla aikavälillä läsnäolotunnistimien havainnointitietojen mukaan. Valaistus säätyy 10 %:iin, kun tilasta ei saada liikehavaintoja ja takaisin 100 %:iin, kun tilassa tehdään liikehavainto. Poissaolovalaistus säästää himmennyksellä vähennetyn tehon verran energiaa.

### 2.3.3 Läsäolo-ohjaus

Läsäolo-ohjauksen tarkoituksena on estää valojen tarpeeton palaminen. Läsäolo-ohjaus toteutetaan kytkemällä valaisimiin läsnäolotunnistin. Läsäolotunnistin havainnoi tilassa tapahtuvaa liikettä lämpösäteilyn, äänen, ultraäänisignaalin tai mikroaaltojen

avulla ja se on mahdollista integroida valaisimeen tai asentaa irrallisena laitteena katto- tai seinäpintaan.

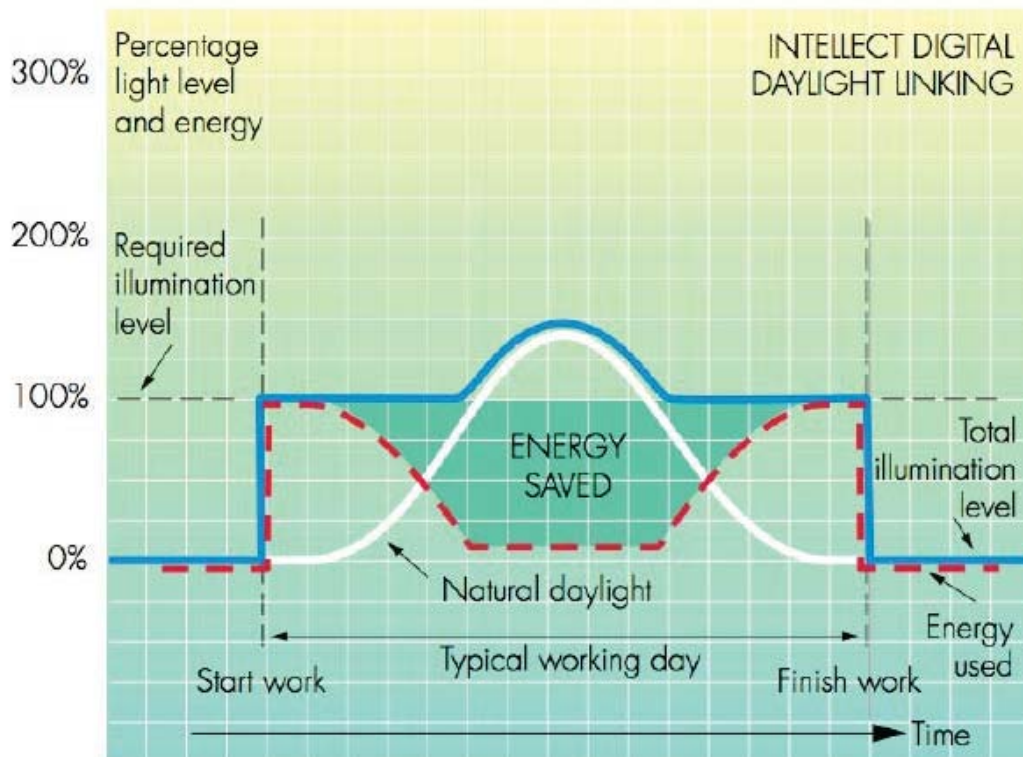
Yleisimmin käytetyssä läsnäolo-ohjauksessa valaisimet syttyvät, kun läsnäolotunnistin tekee havainnon liikkeestä ja sammuttaa valaisimet, kun liikettä ei ole havaittu määrätyn ajan kuluessa. Läsnäolo-ohjauksella voidaan myös toteuttaa poissaolovalaistus (käytävävalaistus) jolloin valaistus palaa himmennettynä energiansäästötilassa silloin, kun tilassa ei ole liikettä havaittavissa. Valaistus säätyy takaisin täydelle teholla, kun tilassa tehdään liikehavainto. Läsnäolo-ohjauksella saavutettava energian säästö on suoraan verrannollinen aikaan, jolloin valaistus pysyy sammutettuna.

#### 2.3.4 Päivänvalo-ohjaus

Päivänvalo-ohjauksessa valaisimeen tai tilaan asennetaan päivänvalotunnistin, joka säättää sähkövalaistuksen valaistustasoa sisään tulevan päivänvalon saatavuuden mukaan. Tunnistin mittaa havaintoalueella olevaa valaistusvoimakkuutta ja pyrkii pitämään sen vakiona. Päivänvalo-ohjaus mahdollistaa tasaisen valaistuksen työtasolle silloinkin, kun työskennellään etäällä ikkunasta.

Päivänvalotunnistimien toiminta perustuu niissä oleviin valovastuksiin, jotka ovat puoli-johdemateriaaleista valmistettuja vastuksia. Valovastuksien resistanssi laskee valon intensiteetin kasvaessa, jonka jälkeen päivänvalotunnistin välittää valovastuksen resistanssin muutostiedot valaistusta säätäville laitteille.

Päivänvalo-ohjauksella saavutettava energian säästö (kuva 1, ks. seur. s.) riippuu huoneen sijoittumisesta rakennuksessa, ikkunoiden koosta ja vuodenajasta. Erityisesti keskipäivän aikoihin voi tulla tilanteita, jolloin keinovalaistus voidaan lähes sammuttaa ja silti säilyttää tavoitteiden mukainen valaistustaso.



Kuva 1. Päivänvalo-ohjauksella saavutettava energiansäästö; energiansäästö on suurimmillaan keskipäivän aikaan ja pienimmillään aamulla ja illalla [3]

Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan valaistus täytyy suunnitella käyttäen alenemakeroointia, joka huomioi valaisimien ja tilojen likaantumisen ja lamppujen valovirran aleneman. Alenemakertoimesta johtuva valaistuksen ylimeritys hukkaa energiaa. Päivänvalo-ohjaus säästää energiaa ilman luonnonvaloakin noin 10–15 %, koska se kompensoi valaistuksen alenemakertoimesta johtuvan ylikuormituksen.

## 2.4 Valonohjausjärjestelmien avainmarkkinatekijät

### 2.4.1 Pike Research -tutkimus

Yhdysvaltalainen arvostettu tutkimusyhtiö Pike Research julkaisi vuoden 2012 toisella vuosineljänneksellä valonohjausta käsittelevän tutkimuksen: Intelligent Lighting Controls for Commercial Buildings. Tutkimustuloksissa arvioitiin valonohjauksen maailmanlaajuisista markkinatilannetta tulevaisuudessa ja perusteltiin, miksi valonohjaus on kasvava markkina-alue [4, s. 2].

Valonohjausjärjestelmien avainmarkkinatekijät Pike Research -tutkimuksen mukaan ovat seuraavat:

- Langattoman valonohjaustekniikan hyväksyntä kuluttajien keskuudessa on avannut uusia mahdollisuuksia valonohjausmarkkinoilla. Uudet valonohjaustekniikat eivät aiheuta vanhemman sukupolven kuluttajissa samanlaisia vastareaktiota kuin ennen.
- Langattomilla tiedonsiirtomenetelmillä toimivat valonohjausjärjestelmät avaavat suuret markkina-alueet uudisrakennus- ja saneerauskohteissa, joissa ohjausjohtimilla toteutetut valonohjausjärjestelmät tulevat liian monimutkaisiksi ja kalliiksi.
- LED-valojen nopeasti putoavat hinnat laukaisevat tulevaisuudessa merkittävästi valaisinsaneeraus-kohteita.
- LED-tekniikka yhdistetään vaivattomasti digitaaliseen valonohjaukseen, joten useat kiinteistöjen omistajat tulevat sisällyttämään älykkään valonohjauksen uusiin tai saneerattaviin rakennuskohteisiin.
- Himmennettävien liitäntälaitteiden hinnat ovat pudonneet tasaisesti viime vuosina. Viiden vuoden kuluessa kustannusero himmennettävän- ja himmentämättömän liitäntälaitteen välillä on niin pieni, että suurin osa myytävistä liitäntälaitteista on todennäköisesti himmennystoiminnolla valmiiksi varustettuja. Himmennettävällä liitäntälaitteella varustettu valaisin houkuttelee hyödyntämään valonohjauksen tarjoamat säästömahdollisuudet.
- Yhdysvalloissa valonohjausmarkkinoita rakennuskohteissa ohjaa kaikkia osa-valtioita koskevat American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) -rakennusmääräykset. Rakennusluokka (90.1–2010) edellyttää valaistuksen automaattista sammutusta ja himmennystä useissa työtiloissa. Kiinteistöjen on oltava rakennusluokan 90.1–2010 mukaisia vuoden 2013 Lokakuuhun mennessä.
- Uusi ASHRAE-rakennusluokkavaatimus 90.1–2010 kannustaa rakennusprojekteja yhdistämään valonohjausjärjestelmät koko rakennuksen kattaviin

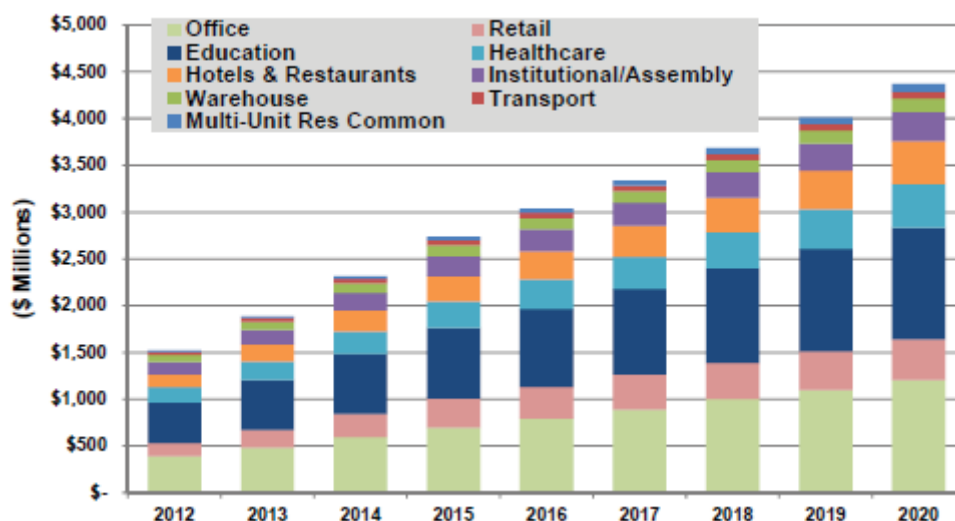


älykkäisiin kiinteistönhallintajärjestelmiin. Tuleviin saneerauskohteisiin sisällytetään todennäköisesti valonohjausjärjestelmät, koska rakennusluokan 90.1–2010 vaatimukset ovat voimassa kaikissa kohteissa, joissa alle kymmenen prosenttia lampuista ja liitäntälaitteista vaihdetaan.

- Euroopan Unionin vuoden 2020 energian leikkaustavoitteet ajavat kaikkia jäsenmaita, kohti valonohjausta. Uusi direktiivi vaatii, että kaikkien uusien julkisten rakennusten täytyy tuottaa oma energiankulutus vuoteen 2019 mennessä ja yksityisten rakennusten vuoteen 2021 mennessä. Älykkäät valonohjausjärjestelmät ovat välttämättömiä näiden vaatimusten täyttämiseen.
- Kiinan kahdestoista viiden vuoden suunnitelma (2011–2015) asettaa suuria tavoitteita energiatehokkuudelle. Laajat kaupunkien kattavat katujen valonohjausjärjestelmät ovat jo rakenteilla, ja rakennusten valonohjaushankkeisiin on odotettavissa yhä suurempia investointeja.
- Globaalin lama rakennusalaalla on viime vuosina rajoittanut valonohjausjärjestelmien markkinoita uudisrakennuskohteissa. Rakennusalan on kuitenkin enustettu toipuvan lähitulevaisuudessa. Valonohjausta kaipaavien saneerauskohteiden valtava määrä kallistaa kuitenkin toistaiseksi suurimmat markkinat saneerauskohteisiin.

Pike Research on jakanut valonohjauksen tutkimuksessaan (taulukossa 1, ks. seur. s.) tavallisiin ja älykkäisiin valonohjauksiin. Tavalliset valonohjaukset käsittävät läsnäolotunnistimet ja yksinkertaiset ohjausyksiköt. Älykkäät valonohjaukset käsittävät lisäksi päivänvalosensorit, himmentävät liitäntälaitteet, himmentimet, tiedonsiirtoyksiköt ja käyttöjärjestelmät, jotka tarvitaan yhdistämään valonohjauskomponentit kiinteistön hallintajärjestelmään. Valonohjaukseen tarvittavien komponenttien yhteenlaskettu arvo toimii tutkimuksessa markkinoiden arvona.

Taulukko 1. Valonohjauksien markkina-alueet 2012–2020 [4, s. 3]



Taulukossa 1 pystyakselilla on kuvattu valonohjausmarkkinoiden arvoa yhdysvaltain dollareina. Pike Research -tutkimukset ennustavat vuosiksi 2012–2020 tasaista ja varmaa kasvua älykkäiden valonohjausten markkinoilla.

#### 2.4.2 Valonohjausjärjestelmien avainmarkkinatekijät Suomessa

Suomessa valonohjausmarkkinoita vauhdittavat erityisesti uudistuneet rakentamismääräykset ja energiatehokkuuteen sekä ympäristöystävällisyyteen ohjaavat EU-direktiivit. Suomen rakentamismääräykset uudistuivat heinäkuussa 2012, jolloin uudisrakentamisessa siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun. Suomen rakentamismääräysten osassa D3 (Rakennusten energiatehokkuus) on koottu rakennuksen energiatehokkuusvaatimukset, joiden täyttäminen osoitetaan energiaselvityksellä.

Keskeisin vaatimus on asetettu rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle, jota kuvataan E-luvulla (kWh/m<sup>2</sup>). Rakennuksen tai rakennuksen osan E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergian laskennallinen kulutus lämmitettyä nettoalaa kohden. Sähkön energiamuotokerroin on suurin, joten sillä on suurin vaikutus E-luvun suuruuteen. E-luku ohjaa kuluttajia valitsemaan rakennukseen ympäristön kannalta mahdollisimman tehokkaita vaihtoehtoja, ja se ei saa ylittää rakennustyyppille määritettyä ylärajaa. Riittävän pienen E-luvun saavuttaminen edellyttää rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen hallintaa.

Rakentamismääräysten osassa D3 määrätään lisäksi, että uudisrakennukset on varustettava energiankäytön mittauksella tai mittausvalmiudella siten, että rakennuksen eri energiamuotojen käyttö voidaan helposti selvittää. Valonohjausjärjestelmät kehittyvät suuntaan, jossa ne mahdollistavat valaistuksen energiankulutuksen reaaliaikaisen seurannan, ja jossa ne ovat osana kiinteistön energianhallintajärjestelmää. Energiatehokkaat ja älykkäät valonohjausjärjestelmät ovat avainasemassa uusien rakentamismääräysten vaatimusten täyttämisessä.

Suomessa annettiin vuonna 2009 valaistustuotteiden ekosuunnittelusta kaksi asetusta, jotka perustuvat ErP-direktiiviin 2009/125/EY. Asetusten tarkoituksena on vähentää valaistustuotteiden ympäristövaikutuksia, joita ovat etenkin energiankulutus ja lamppujen sisältämä elohopea. Ammattivalaistusalan tuotteita – katu- ja toimistovalaistausta koskeva komission asetus (EY) N:o 245/2009 määrää loistelamppujen liitäntälaitteille niin korkeat energiatehokkuusvaatimukset, että loistelamppujen magneettiset virranrajoittimet (kuristimet) poistuvat markkinoilta 2017, joten jäljelle jäävät vain elektroniset liitäntälaitteet. Pieni kustannusero ohjattavan (valonohjauksen mahdollistava) ja ohjaamattoman liitäntälaitteen välillä tukee valonohjausmarkkinoita, koska se kannustaa kuluttajia valitsemaan ohjattavia valaisimia.

### 3 Valonohjausjärjestelmät ja vihreä rakentaminen

Energiatehokkaalla valonohjausjärjestelmällä on mahdollista pienentää merkittävästi valaistuksen sähköenergian kulutusta. Valonohjausjärjestelmän edut eivät enää rajoitu pelkästään energian säästöön, vaan energiatehokas ja ympäristöystävällinen valaistus on myös osa vihreää rakentamista.

Vihreä rakentaminen on tapa rakentaa ja käyttää menetelmiä, jotka ovat ekologisesti vastuullisia ja resurssien käytön kannalta tehokkaita rakennuksen koko käyttöajan. Vihreää rakentamista kutsutaan myös kestävä kehityksen rakentamiseksi, koska se edistää ihmisten terveyttä, sosiaalista vastuuta sekä kulttuuriarvojen säilyttämistä. Vihreät rakennukset tuovat omistajilleen ympäristöllisiä, taloudellisia ja yhteiskunnallisia hyötyjä. Kestävää kehitystä voidaan tukea valitsemalla valaistavaan kohteeseen energiatehokas valonohjausjärjestelmä.

Teollistuneissa maissa valaistuksen osuus kokonaissähkönkulutuksesta on 5–15 %. Valaistuksen hiilidioksidipäästöt voidaan ajatella syntyvän sähköntuotannon aikana, kun fossiilisia polttoaineita poltetaan. Vihreällä rakentamisella energiankäyttöä ja hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää 57 %, kun käytetään valonohjausjärjestelmiä, joissa päivänvalo-, vakiovalo- ja läsnäolotunnistimet ohjaavat valaistusta [5].

Vihreää rakentamista varten on luotu useita arviointimenetelmiä, joilla on mahdollista saada sertifikaatti rakennusta koskevista ympäristöystävällisistä ratkaisuista.

#### 3.1 BREEAM-sertifiointi

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) on eurooppalainen johtava ympäristöarvioinnin menetelmä, joka palkitsee säännökset ylittävät suoritukset, jotka edistää ympäristön hyvinvointia, mukavuutta ja terveellisyyttä. BREEAM-ympäristösertifikaatteja (kuva 2, ks. seur. s.) on voinut hakea vuodesta 1990 lähtien ja niitä on vuoteen 2012 mennessä myönnetty yli 200 000 kappaletta. [6.]



Kuva 2. BREEAM-sertifiointimerkintä [6]

BREEAM-sertifiointi pisteyttää kiinteistön usean osa-alueen perusteella. BREEAM -osa-alueet ovat kiinteistöjen johtaminen, terveys ja hyvinvointi, energian käyttö, kuljetus ja liikenne, vedenkäytön tehokkuus, materiaalit, jäte, maankäyttö ja ekologia, saasteet sekä innovaatiot.

BREEAM-sertifioinnissa valaistusta arvioidaan seuraavien standardien ja ohjeiden perusteella:

- CIBSE LG10 -valaistusohje
- SFS-EN 12464-1 (Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus)
- Tiedote: IP 23/93 "Measuring daylight", BRE, 1993.

### 3.2 BREEAM-sertifioinnin osa-alueet

BREEAM pisteyttää ja ryhmittelee ympäristövaikutukset useisiin luokkiin. Energiatehokas ja ympäristöystävällinen valaistus on edellytys korkeisiin pisteisiin BREEAM-luokituksessa.

### 3.2.1 Energiankäyttö – energia ja hiilidioksidi -osa-alue

Energian käyttö -osiolla pyritään antamaan tunnustusta kokonaisvaltaisesti energiatehokkaasta rakentamisesta ja ohjata rakennuksen käytön aikainen energiankulutus mahdollisimman vähäiseksi. Energian käyttö -osiossa energiatehokkaasta ulkovalaistuksesta palkitaan pisteillä, kun se on varustettu päivänvalo-ohjauksella tai kellokytkimellä ja, kun sen energiankulutus on mitattavissa energianseurantalaitteistolla.

Ulkovalaistuksen valotehokkuudelle on asetettu minimivaatimukset (taulukko 2) käyttökohteittain riippuen valaistuksen värintoistokyvystä ja tehosta.

Taulukko 2. Ulkovalaistukselle asetetut valotehokkuuden minimiarvovaatimukset käyttökohteittain [6]

External lighting location	Light fittings measured in lamp lumens/circuit Watt, when:		LED luminaires where the lamp is integral to the fitting measured in luminaire lumens/circuit Watt, when:	
	Colour rendering index (Ra) $\geq$ 60	Colour rendering index (Ra) $\geq$ < 60	Colour rendering index (Ra) $\geq$ 60	Colour rendering index (Ra) < 60
Building, access ways, pathways	50	60	40	50
Car parking, associated roads, floodlighting	70	80	55	60
Signs, uplighting	Lamp wattage $\geq$ 25W	Lamp wattage < 25W	Lamp wattage $\geq$ 25W	Lamp wattage < 25W
	60	50	50	50

Taulukossa 2 valotehokkuutta on kuvattu yksiköllä lm/W, joka ilmaisee, kuinka paljon valoa (lm) yksi watti (W) sähköä tuottaa. Taulukossa käytetty valovirta (lm) on valaisimesta ulos säteilevä valovirta ja teho (W) on valaisimen virtapiirin teho.

Rakennuksissa, sisääntuloväylillä ja jalankulkuväylillä olevien ulkovalaisimien valotehokkuuden minimiarvo on 50 lm/W, kun värintoistoindeksi ( $R_a$ ) on suurempi tai yhtä suuri kuin 60. Valotehokkuuden minimiarvo on 60 lm/W, kun lampun  $R_a$  on vähemmän kuin 60.

Parkkialuevalaisimien, tievalaisimien ja valonheittimien valotehokkuuden minimiarvo on 70 lm/W, kun  $R_a$  on suurempi tai yhtä suuri kuin 60. Valotehokkuuden minimiarvo on 80 lm/W, kun  $R_a$  on pienempi kuin 60.

Kylttivalaisimien ja julkisivuvalaisimien valotehokkuuden minimiarvo on 60 lm/W, kun lampun teho on suurempi tai yhtä suuri kuin 25 W tai 50 lm/W, kun lampun teho on pienempi kuin 25 W.

### 3.2.2 Terveys ja hyvinvointi -osa-alue

Terveys ja hyvinvointi osa-alueessa perehdytään käyttäjän mukavuuden ja terveyden kannalta tärkeisiin asioihin. Arviointitekijöitä ovat melu, valaistus ja ilmanlaatu. Hyvä valaistus on edellytys ihmisten hyvinvoinnille. Valaistuksen arvioinnilla pyritään takaamaan ihmisille ympäristö, jossa valaistus on työskentelyn ja mukavuuden kannalta optimaalinen.

Arvioinnin tarkoitus on kannustaa rakennuttajia lisäämään valaistussuunnittelu osaksi uudisrakennuksen suunnittelua. Arvioinnin keskeiset tavoitteet on varmistaa riittävä päivän- ja keinovalon määrä rakennuksen sisällä sekä huomioida läsnäolo-ohjaus osana valaistusjärjestelmää.

BREEAM-sertifiointin terveys ja hyvinvointi -osa-alueen valaistusvaatimukset edellyttävät seuraavaa:

- Sisävalaistuskohdeiden valonmäärätasot (lx) tulee täyttää CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers) Code for Lighting 20093 -standardin vaatimukset.
- Rakennuksen sisään on päästävä riittävästi päivänvaloa, ja keinovalon määrä tulee olla valaistavissa työtiloissa riittävä.
- Valaistuksen on oltava hyvin häikäisysuojattu.
- Valaistuksen on oltava himmennettävissä porrastetuissa auditorioissa ja opetustiloissa.
- Näyttöpäätetyötiloissa olevan valaistuksen tulee täyttää CIBSE Lighting Guide 74 -standardin kohtien 3.3, 4.6, 4.7, 4.8 ja 4.9 vaatimukset.

Standardi rajoittaa valaisimien pintaluminanssiarvoja, jotta välttyttäisiin näyttöön tulevilta häiritseviltä heijastuksilta. Standardi antaa suosituksia suoran valaistuksen käytöstä, kattopinnan luminanssiarvoista ja keskimääräisistä seinäpintojen luminanssiarvoista.

- Rakennuksen ulkopuolisen valaistuksen tulee olla valontasoltaan rajoitettu BS 5489-1:2003 + A2:2008 Lighting of roads and public amenity areas -standardin mukaisesti.
- Yksittäisessä työpistevalaisimessa tulee olla säätömahdollisuus.
- Opetus- ja esitystiloissa olevan valaistuksen on oltava ohjattavissa CIBSE Lighting Guide 5 -standardin mukaisesti. Standardi määrittelee valaistukselle himmennys, sytytys ja sammutus -vaatimukset tilakohtaisesti.
- Kaikki loisteputki- ja pienloistevalaisimet tulee olla varustettuna HF (High Frequency) -liitäntälaitteilla.

Sisävalaistuksen on oltava paikallisesti ohjattavissa

- minimissään neljän henkilön kokoisella työalueella
- ikkunoiden läheisyydessä olevissa työpisteissä
- seminaari- ja esitystiloissa
- kirjastojen tiloissa
- opetustiloissa
- liitutaululla tai valkokankaalla
- auditorioissa
- ruokailutiloissa



- liiketiloissa
- ravintolatiloiissa
- yöpymistiloissa
- ensiaputiloissa
- odotushuoneissa
- oleskeluhuoneissa.

### 3.2.3 Jätteet -osa-alue

Jäte-osion tavoitteena on jätteen määrän minimointi sekä tehokas ja hygieeninen jätteen varastointi. Nykyaikaisella ja laadukkaalla valaistuksella on mahdollista pienentää valaistuksesta tulevia jätteitä. Valitsemalla LED-tekniikkaan perustuva valaistus voidaan pienentää materiaalikuluja ja kuormittaa kierrätysjärjestelmiä vähemmän, koska LED-moduulin käyttöikä on huomattavasti pidempi kuin perinteisillä valonlähteillä. Valitsemalla langaton valonohjausjärjestelmä tarvittavien johdinmateriaalien käyttö pienenee.

### 3.2.4 Saasteet -osa-alue

Saasteet-osiolla pyritään vähentämään rakennuksesta aiheutuvia saasteita niin päästöjä kuin valo- ja melusaasteita. Valosaaste eli häiriövalo on keinovalosta käytetty nimitys, jos se koetaan tarpeettomana, liian voimakkaana tai muuten häiritsevänä. Valosaasteen välttämiseksi täytyy minimoida ylöspäin suuntautunut valo. Oikein suunnatulla, laadukkaalla heijastintekniikalla ja ohjattavalla valaistuksella voidaan vähentää yöaikaista valosaastetta.

### 3.3 Vihreän rakentamisen edut

#### 3.3.1 BREEAM-sertifiointin edut

Rakennusten omistajat ja kiinteistönvälittäjät voivat BREEAM-sertifiointilla tuoda esiin rakennuksen ympäristöystävällisyyden kauppa- tai vuokraneuvotteluissa.



Kuva 3. BREEAM-sertifikaatti nostaa kiinteistön arvoa ja vuokratuloja, laskee rakennuksen käyttökustannuksia ja lisää työntekijöiden läsnäoloa työpaikalla [6]

#### 3.3.2 Kestävää kehitystä tukevan valonohjausjärjestelmän edut

Kestävää kehitystä tukeva valonohjausjärjestelmä tuo ympäristöllisiä, taloudellisia ja yhteiskunnallisia hyötyjä.

Ympäristöhyödyt ovat

- jätteiden määrään vähentäminen
- luonnonvarojen käytön vähentäminen.

Taloudelliset hyödyt ovat

- edulliset ylläpito- ja huoltokustannukset
- rakennuksen arvon ja tuottojen edistäminen
- työntekijöiden tuottavuuden ja tyytyväisyyden parantaminen
- rakennuksen elinkaaren taloudellisen suorituksen optimoiminen
- rakennuksen käyttöiän pidentäminen
- rakennuksen jälleenmyyntiarvon nostaminen.

Yhteiskunnalliset hyödyt ovat

- rakennuksen toimivuuden parantaminen
- rakennuksen käyttäjien terveyden edistäminen.

### 3.3.3 Valonohjausjärjestelmien kasvavat edut tulevaisuudessa

Valonohjausjärjestelmät kehittyvät kiristyvien energiadirektiivien ja uusiutuvien rakentamismääräysten takia suuntaan, jossa ne ovat osa kiinteistön energianhallintajärjestelmää. Kiinteistöjen energianhallintajärjestelmät mahdollistavat energiankulutuksen reaaliaikaisen tarkastelun.

Älykkäät valonohjausjärjestelmät voivat olla langallisella tai langattomalla valonohjaustekniikalla toteutettuja, ja ne voivat sisältää energianmittauskaluston sekä käyttöliittymän kulutuksen tarkasteluun tai ohjaamiseen.

Energian hallinnan edut ovat seuraavat:

- Kiinteistöt voivat keventää sähköverkon rasitusta huippukuorman aikaan himmentämällä tai sammuttamalla valaistus automaattisesti. Automaattisesti

himmennetty tai sammutettu valaistus mahdollistaa energian säästön, kun sähkön hinta on korkeimmillaan.

- Yritykset, jotka pystyvät pienentämään sähkönkulutustaan sähköverkon huipukuorman aikaan, saattavat saada kannustimia valtiolta.
- Usean henkilön huoneistoissa on mahdollista laskuttaa asukkaita yksilöllisesti perustuen henkilökohtaiseen sähkönkulutukseen.
- Energian hallintaa tukevan valonohjausjärjestelmän avulla voidaan saada rakennukselle korkeampi ympäristöluokitus.

## 4 Langattomat valonohjausjärjestelmät

Valonohjaus tarjoaa kuluttajille taloudellisia ja toiminnallisia etuja. Liikerakentamisen markkina-alueilla valonohjauksia on kuitenkin sijoitettu vain melko yksinkertaisiin kohteisiin johtuen sen tuomista lisäkustannuksista ja ohjauskaapeleiden sijoittamisongelmista.

Valonohjauksen tuomat lisäkustannukset muodostuvat: kalliimmista sähköisistä komponenteista, ohjauskaapeleista, suuremmista asennuskustannuksista, kalliimmista huolto- ja kunnossapitokustannuksista ja valaistuksen mahdollisesta käyttöönotto-ohjelmoinnista.

Uuden sukupolven langattomat valonohjausjärjestelmät eliminoivat valonohjausjärjestelmien ohjauskaapeleiden tuomat lisäkustannukset ja sijoittamisongelmat. Valonohjauskaapeleiden korvaaminen langattomalla tiedonsiirrolla laajentaa järjestelmän ulottuvuuksia ja ominaisuuksia. Langattomat tiedonsiirtoteknologiat eliminoivat ohjauskaapelit ja mahdollistavat valonohjauksen ilman huomattavia lisäkustannuksia tai suuria rakenteellisia muutoksia olemassa oleviin valaisimiin.

Langattomat valonohjausjärjestelmät tarjoavat monipuolista valonohjausta lisääntyneellä joustavuudella ja luotettavuudella. Langattomien valonohjausjärjestelmien asentaminen ja laajentaminen on yksinkertaista ja nopeaa. Langattomalla valonohjausjärjestelmällä säästetään asennuskustannuksissa, vähennetään kuparikaapeleiden käyttöä ja parannetaan valaistuksen takaisinmaksuaikaa.

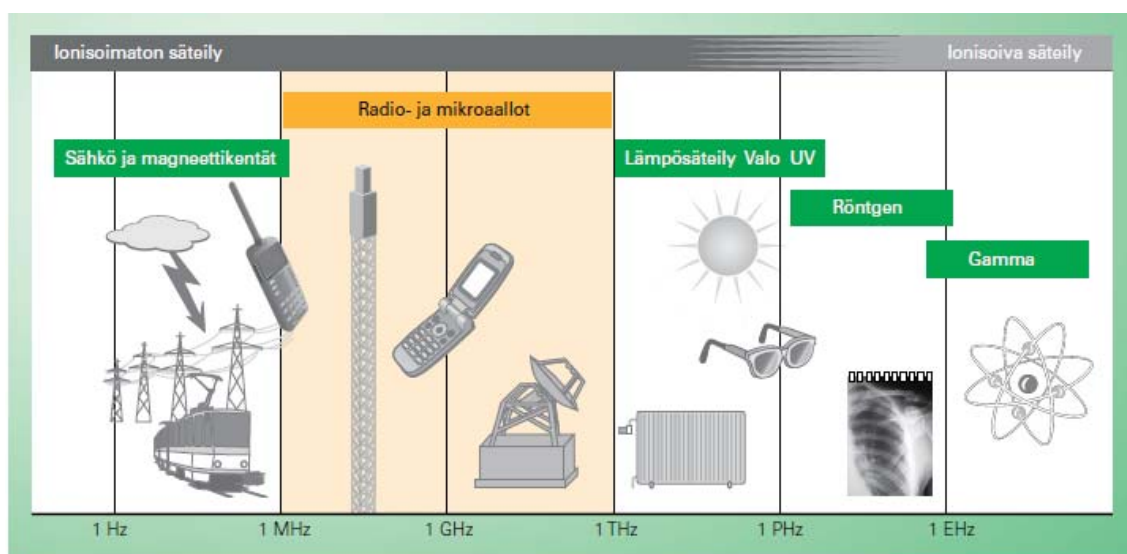
### 4.1 Langaton tiedonsiirto

Langaton tiedonsiirtotekniikka perustuu lähettimen ja vastaanottimen välillä kulkevaan, taajuusalueen 3 kHz–300 GHz, sähkömagneettiseen säteilyyn eli radioaaltoihin. Langattomassa viestinnässä tiedonsiirto tapahtuu radiotaajuuksien, mikroaaltojen tai infrapunasäteilyn välityksellä. Radioaaltoja hyödyntäviä laitteita on kaikkialla elinympäristössämme.

Radioaalto synnytetään johtamalla suuritaajuinen sähkövirta antenniin, joka siirtää energian radio-aaltolina etenevään sähkömagneettiseen kenttään. Langattomassa tie-

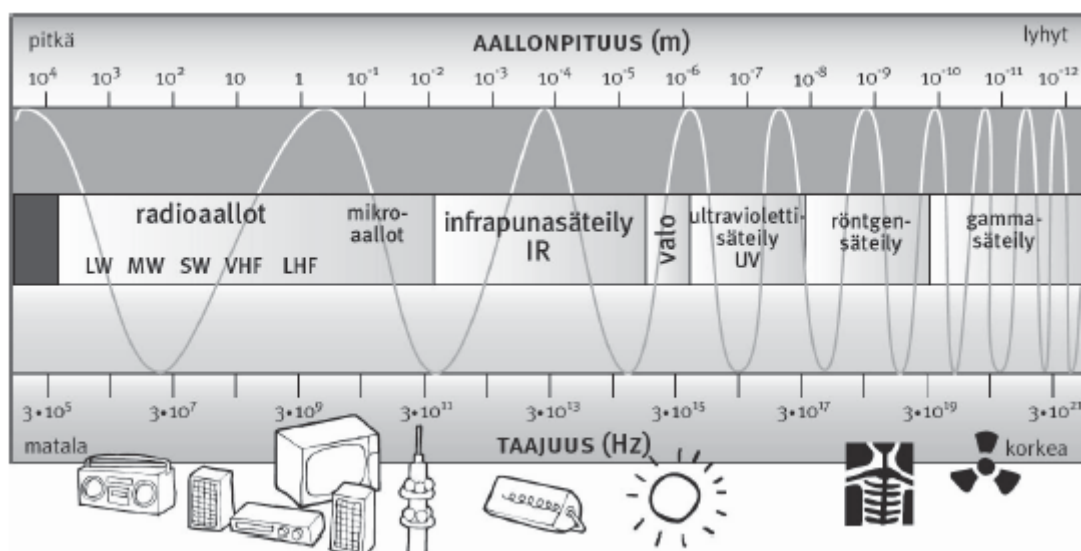
donsiirrossa antenni lähettää radioaaltoja vapaaseen tilaan kohti vastaanottimia. Vastanotettu tieto muutetaan lopuksi haluttuun ymmärrettävään muotoon. [7.]

Nykyaikainen tiedonsiirto ja viestintä on lähettimen ja vastaanottimen osalta usein kaksipuolista. Kaksipuolinen tiedonsiirto tarkoittaa, että toimilaitteissa on sekä lähetin että vastaanotin. Langanomaa tiedonsiirtotekniikkaa valittaessa on huomioitava radioaaltojen ominaisuudet: vaimeneminen, sironta, häipyminen, monitie-eteneminen, heijastuminen, taipuminen sekä Doppler-ilmiö. [8.]



Kuva 4. Radioaallot ympäristössämme [9]

Kuvassa 4 on kuvattu sähkömagneettisen säteilyn jakautumista taajuustasossa. Radioaaltojen alapuolella ovat pientaajuiset ja staattiset sähkö- ja magneettikentät ja yläpuolella infrapuna- ja näkyvä valo. Radioaaltoja käyttäviä laitteita ovat muun muassa matkapuhelimet, niiden tukiasemat, WLAN- ja muut langattomat tiedonsiirtolaitteet, mikroaaltouunit ja tutkat.



Kuva 5. Sähkömagneettinen spektri [10]

Kuvassa 5 on esitetty koko sähkömagneettinen spektri. Spektristä nähdään, että radioaallot ovat sinimuotoisia, joten niillä on amplitudi, taajuus, aallonpituus, jakso ja vaihe. Radioteknologiassa lähetettävä tieto moduloidaan kantotaajuuteen ja välitetään taajuusmodulaationa eli taajuuden vaihteluina, kanta-aallon voimakkuuden vaihteluna (amplitudimodulaationa), vaihemodulaationa eli vaihesiirtona tai näitä yhdistelemällä.

Radioaallot jakautuvat useisiin taajuusalueisiin. Lähes kaikki langattomat tiedonsiirto-tekniikat käyttävät korkealla, UHF (Ultra High Frequency) -radiotaajuusalueella värähteleviä 300–3 000 MHz:n taajuuksia [10.]

#### 4.2 Sähkömagneettinen säteily langattomassa valonohjauksessa

Valaistuksessa käytetään sähkömagneettista säteilyä valonohjauskomponenttien välisessä langattomassa viestinnässä sekä niiden toiminnassa. Valonohjauskomponentteja ovat muun muassa kytkimet, kauko-ohjaimet, läsnäolotunnistimet, päivänvalotunnistimet ja keskusyksiköt. Valaistuksen ohjauksessa yleisimmin käytettyjä sähkömagneettisen säteilyn muotoja ovat mikroaallot ja infrapunasäteily.

Signaalinen eteneminen väliaineessa ja langattoman tiedonsiirron nopeus riippuvat signaalin taajuudesta ja aallonpituudesta. Mitä korkeampi taajuus signaalilla on sitä huonommin se läpäisee esteitä. Korkea taajuus puolestaan mahdollistaa suuremman

tiedonsiirtonopeuden. Tiedonsiirtonopeus on verrannollinen energian kulutukseen, joten sen ylityöittamista tulee välttää.

Langattomassa viestinnässä energiatehokkain ja luotettavin yhteysmuoto saavutetaan määrittämällä viestintäyhteyden ominaisuudet langattoman laitteiston sijoitusympäristön mukaan.

#### 4.2.1 Mikroaallot

Mikroaallot ovat sähkömagneettisia aaltoja, jotka toimivat noin 1 GHz–300 GHz:n taajuusalueella. Mikroaaltojen ja radioaaltojen raja on liukuva, samoin mikroaaltojen ja kaukoinfrapun. Useimmat mikroaallot käyttävät laitteet toimivat 1–40 GHz:n taajuusalueella. Mikroaallot pystyvät kuljettamaan tietoa korkean taajuuden ansiosta nopeasti, ja niillä on kyky edetä ilmakehässä lähes vaimentumatta. Korkean taajuuden vuoksi niiden etenemistä ilmassa heikentää kuitenkin esteet kuten rakennukset ja puut. [11.]

Valaistuksessa mikroaallot käytetään valonohjauslaitteiden välisessä langattomassa viestinnässä, koska korkea taajuus mahdollistaa tiedonsiirron nopeasti ja pienellä virralla. Valonohjausjärjestelmän laitteiden välillä liikkuva data on yksinkertaista ohjaustietoa, joten tiedonsiirtoon voidaan käyttää niukasti virtaa kuluttavia LDR (Low Data Rate) -sovelluksia eli pienen datanopeuden tiedonsiirto-sovelluksia. Eräitä tunnetumpia markkinoilla olevia LDR-sovelluksia ovat standardit Zigbee ja Bluetooth.

Mikroaallot käytetään myös mikroaaltopulsseja lähettävissä läsnäolotunnistimissa. Mikroaallot läpäisevät ohuita materiaaleja ja väliseiniä, joten mikroaaltotunnistin on vaativa asennuspaikan suhteen. Väärin sijoitettu mikroaaltotunnistin saattaa havaita tarkoituksettomia liikkeitä viereisestä huoneesta. Mikroaaltotunnistimen etu on, että se voidaan sijoittaa piiloon valaisimen sisään esimerkiksi suojakuvun sisäpuolelle, jolloin valaisimen ulkorakenne pysyy siistinä, ja sen IP (International Protection) -luokitus säilyy korkeana. IP-luokitus kertoo laitteen suojauksen ulkoisia uhkia, kuten pölyä ja vettä vastaan.



#### 4.2.2 Infrapunasäteily

Infrapunasäteily on 300 GHz–200 THz:n taajuudella toimivaa näkyvää valoa pitkäaaltisempaa sähkömagneettista säteilyä. Lähinnä valon aluetta ilmenevää infrapunasäteilyä kutsutaan lähi-infrapunasäteilyksi NIR (Near Infrared). Lämpösäteily MWIR (Mid Wave length Infrared) ja LWIR (Low Wave length Infrared) ovat infrapunasäteilyä, jotka ovat lähi-infrapunaa pitkäaaltisempaa säteilyä ja sitä lähettää jokainen kappale, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Infrapunasäteily on edullinen ja yksinkertainen tiedonsiirtotapa, ja se pystyy korkean taajuuden vuoksi kuljettamaan suuria määriä dataa, mutta rajallisen ja suunnatun matkan. Tiedonsiirrossa infrapunatekniikan yhteysmuotoja ovat suunnattu yhteys ja heijastuksiin perustuva hajautettu yhteys.

Infrapunasäteily soveltuu yhteysmuotona valonohjaukseen huonosti, koska kommunikoiden laitteiden välinen etäisyys ei saa olla suuri ja niiden välillä täytyy olla tarkasti suunnattu esteetön näköyhteys. Auringonvalo aiheuttaa häiriötä infrapunalla tapahtuvaan tiedonsiirtoon, joten se rajoittaa hajautettua infrapunaa käyttävät laitteet sisätiloihin.

Infrapunasäteilyn tärkeimmät sovellukset ovat PIR-liiketunnistimet eli passiiviset infrapunatekniikkaan perustuvat liiketunnistimet. Liiketunnistimen passiivisuus tarkoittaa, että se ei emittoi säteilyä vaan ainoastaan vastaanottaa sitä. PIR-liiketunnistimet tunnistavat ihmisen kehon liikkeestä aiheutuvat infrapunasäteilyn voimakkuuden nopeat vaihtelut. Ne ovat markkinoilla yleisimpiä liiketunnistimia ja ne sopivat hyvin ympäristöihin, joissa radiotaajuudet voivat aiheuttaa häiriötä herkissä sähkölaitteissa. [12.]

#### 4.2.3 Näkyvä valo

Näkyvä valo on sähkömagneettisen spektrin ihmissilmällä nähtävä osa. Se asettuu aallonpituuksille 350–700 nm ja taajuuksille 380–750 THz. Valaistuksen päivänvalo-ohjauksessa hyödynnetään auringosta säteilevää päivänvaloa, jolloin päivänvalotunnistimet säättävät keinovaloja huomioiden päivänvalon määrän.

#### 4.3 Langattoman valonohjausjärjestelmän rakenne ja toiminta

Langattomat valonohjausjärjestelmät perustuvat radioaaltojen välityksellä tapahtuvaan langattomaan viestintään eli langattomien valonohjauskomponenttien lähettämiin tai vastaanottamiin RF-signaaleihin. Yksinkertaisin valonohjausjärjestelmä rakentuu kytkimestä, päivänvalo- tai liiketunnistimesta, joka lähettää ohjauskäskyn langattomasti releelle tai himmentimelle. Kehittyneemmät valonohjausjärjestelmät voivat koostua useista tunnistimista ja ne voidaan synkronoida yhteen taloautomaatiojärjestelmien tai kotiverkkojen kanssa.

Langattoman valonohjausjärjestelmän päätepisteiden välinen kommunikointi tapahtuu langattomasti. Päätepisteet voivat olla sensoreita, kytkimiä, liitäntälaitteita tai LED-ohjaimia, jotka ovat kytketty ohjattaviin valaisimiin. Perinteiset valonohjausjärjestelmät käyttävät kiinteästi johdotettuja ohjaimia, jotka ovat kytketty kuparilangalla jokaiseen järjestelmän laitteeseen. Langattomassa valonohjausjärjestelmässä olevat ohjaimet on varustettu antennilla, ja tiedonsiirto järjestelmän sisällä olevien laitteiden kanssa tapahtuu langattomilla tiedonsiirtomenetelmillä.

Langattomissa valonohjausjärjestelmissä jokainen järjestelmän päätepiste voidaan aktivoida langattomasti. Langattoman tiedon vastaanottoon tarvittava tekniikka on usein integroitu laitteisiin valmiiksi tehtaalla. Tavallisistakin langallisesti toimivista laitteista voidaan tehdä langattomasti toimivia erilaisten langattomien adaptereiden avulla.

Langaton valonohjausjärjestelmä sisältää usein ohjauspaneelin tai valonohjausohjelmistolla varustetun tietokoneen, joiden avulla valonkäyttäjä voi antaa ohjauskomentoja, jotka välittyvät järjestelmän päätepisteille reitittimien avulla.

Yksinkertaisimpien langattomien valonohjauskomponenttien toimintaetäisyys toisistaan on noin 20–100 m. Rakennusmateriaalit ja muut esteet heikentävät kommunikointisignaalia, joten toimintaetäisyys saattaa pudota merkittävästi. Tehokkaat järjestelmät avarassa ulkoympäristössä voivat antaa 200–1 000 m:n toimintaetäisyyden. Signaalin kantamaa on mahdollista lisätä lähes äärettömästi käyttämällä signaalin vahvistimia tai langatonta Mesh-verkkotopologiaa.

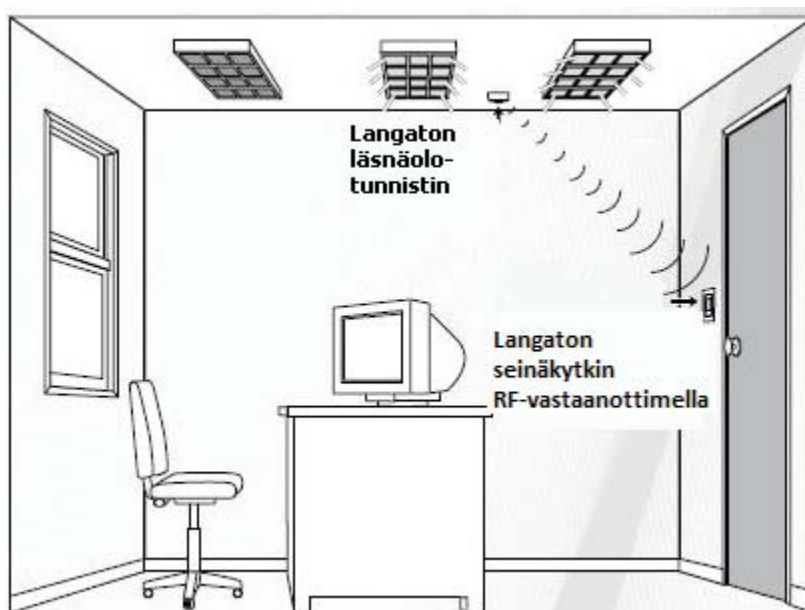
Valaisinvalmistajien langattomat RF-tekniikalla toteutetut valonohjausjärjestelmät muistuttavat toisiaan, mutta saattavat olla kokoonpanoltaan ja rakenteeltaan hyvinkin erilaisia.

Langattoman valonohjausjärjestelmän yleisimmät komponentit ovat

- läsnäolotunnistin
- päivänvalotunnistin
- pienjänniterelekytkin
- vaihejänniteohjain
- pistokeohjain
- ovikortin kytkin
- verhon ohjain
- ovi- tai ikkunasensori
- LVI-ohjain
- venttiilinojain
- keskusyksikkö
- käyttöpaneeli
- kauko-ohjain
- energianseurantalaitteisto.

Langattomat valonohjauskomponentit voivat toimia sähköverkosta ja paristoista saadulla energialla tai ympäristöstä kerätyllä energialla. Korkealaatuisilla paristoilla voidaan saavuttaa jopa 10 vuoden toiminta-aika. Kehittyneet RF-kytkimet voivat kehittää langattoman ohjaussignaalin lähettämiseen tarvittavan ohjausvirran myös itse. Ohjausvirta voidaan kehittää kitkaenergian avulla, joka kehittyy kytkimen painamisesta. Ohjausvirta on myös mahdollista kerätä ympäröivästä valosta tai huoneiston lämpötilaeroista. Hotellien huonekorttijärjestelmät keräävät ohjausvirtansa liikkeestä, joka tapahtuu korttia työntäessä kortinlukijaan.

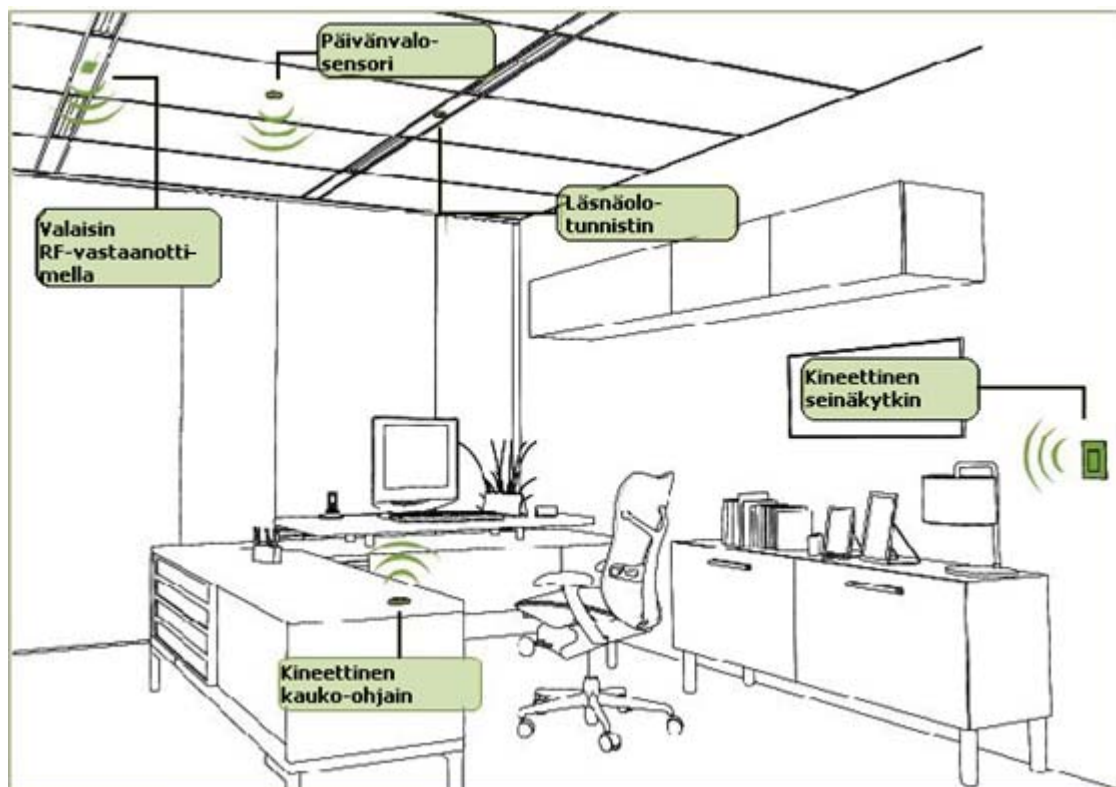
Yksinkertaisessa RF-valonohjausjärjestelmässä (kuva 6) läsnäolotunnistin kommunikoi langattomasti RF-vastaanottimella varustetun seinäkytkimen kanssa, joka ohjaa valaisimille kulkevaa sähköä. Kommunikaatio tapahtuu radioaaltojen välityksellä ja on P2P (*peer to peer*) -tyyppistä, mutta tietyn raja-alueen sisällä. Toimivuusaluetta on mahdollista laajentaa signaalin vahvistimen avulla.



Kuva 6. Yksinkertainen langaton valonohjausjärjestelmä [13]

Kuvassa 6 on esitetty, miten läsnäolotunnistin kommunikoi langattomasti RF-vastaanottimella varustetun seinäkytkimen kanssa. Seinäkytkin ohjaa kuormana olevaa valaistusta. Seinäkytkimen ja valaistuksen välinen ohjaus tapahtuu ohjausjohtimilla.

Kehittyneemmässä langattomassa valonohjausjärjestelmässä (kuva 7) valaistusta voidaan säätää päälle ja pois -kytkimen lisäksi automaattisesti läsnä- ja päivänvalotunnistimilla, jotka kommunikoivat langattomasti valaisimen kanssa. Järjestelmään voidaan liittää myös himmentimiä tai kauko-ohjaimia.



Kuva 7. Langaton valonohjausjärjestelmä toimistohuoneessa [13]

Kuvassa 7 on esitetty, miten RF-vastaanottimella ja säädettävällä elektronisella liitännälaitteella varustettua valaisinta voidaan ohjata manuaalisesti kineettisellä energialla toimivalla seinäkytkimellä ja kauko-ohjaimella tai automaattisesti toimivilla läsnä- ja päivänvalotunnistimilla. Säädettävä liitännälaitte mahdollistaa valaisimen himmentämisen. [13.]

#### 4.4 Langattomat valonohjausprotokollat

Langattomat valonohjauskomponentit käyttävät viestintään erilaisia yhteyskäytäntöjä. Yhteyskäytännöt eli protokollat voidaan jakaa avoimiin ja suljettuihin protokolliin.

Suljettu protokolla perustuu yksittäisen yrityksen omistamaan patentoituun systeemiin, jonka käyttö voi olla rajoitettu vain sopimusasiakkaille. Suljettua protokollaa käyttävät usein yksittäiset valmistajat, jotka ovat itse kehittäneet tuotesarjalleen mahdollisimman luotettavan ja erityistarpeita täyttävän yhteyskäytännön. Suljetun protokollan etuja ovat toimintavarmuus tuoteperheen sisällä.

Avoimet protokollat perustuvat julkisiin standardeihin, joten ne ovat kaikkien vapaassa käytössä. Avoimia protokollia kehittävät järjestöt tai yritysryhmät eivät pääasiassa tavoittele taloudellista voittoa. IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) -järjestö on kehittänyt yhtenäisiä IEEE-standardeja, joiden avulla eri valmistajien ja eri tekniikoita käyttäville laitteille on kehitetty yhteisiä yhteyskäytäntöjä. Standardien avulla eri laitteille on saatu määritettyä samat tiedonsiirtomenetelmät ja yhtenevät viestintä-protokollat, joiden avulla laitteet voivat kommunikoida keskenään.

Langattomissa valonohjausjärjestelmissä käytetään pääasiassa kolmea eri langatonta protokollaa: Zigbee, Z-Wave ja EnOcean. Lisäksi valonohjausjärjestelmissä käytetään yksittäisten valmistajien käyttämiä patentoituja protokollia, jotka on suunniteltu käytettäväksi vain tietyissä tuoteperheissä.

#### 4.4.1 Zigbee-protokolla

Zigbee-allianssi (kuva 8) on perustettu vuonna 2002 ja siihen kuuluu yli 175 yritystä ympäri maailman. Sen tavoitteena on kehittää ympäristöystävällisempää ja vähemmän virtaa kuluttavaa teknologiaa ihmisten ja yritysten tarpeisiin ja yhdistää laitteet yhdeksi isoksi verkoksi.



Kuva 8. Zigbee allianssin logo [14]

Valonohjauksessa yleisimmin käytössä oleva yhteystyyppi on Zigbee. Zigbee on lähes maailmanlaajuisesti hyväksytty 2,4 Mhz:n taajuudelle toimiva IEEE 802.15.4-standardin mukainen lyhyen kantaman tietoliikenneverkko.

Zigbee toimii ISM (Industrial, Scientific and Medical) -taajuusalueella. Maailmassa on käytössä kolme eri ISM-taajuusaluetta: globaali 2450 MHz taajuusalue, Euroopassa käytössä oleva 868 MHz:n taajuusalue ja Amerikassa käytettävä 915 MHz:n taajuusalue. ISM-taajuusalue on maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa, ja se on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön. Ominaista näille taajuusalueille on niiden tiedonsiirtonopeus: globaalissa taajuusalueessa 240 kb/s, Euroopassa 20 kb/s ja Yhdysvalloissa 40 kb/s.

Lisenssivapaan taajuusalueen käyttö kannustaa myös yksittäisiä kuluttajia kehittämään sovelluksia ZigBeehen pohjautuen. Valonohjauslaitteiden lisäksi Zigbeetä käytetään olohuoneiden kotiteatterijärjestelmissä, ilmanlaadun sekä lämpötilan mittauksissa.

ZigBee-verkko koostuu kolmesta komponentista; ZigBee Coordinaattori (ZC), ZigBee Router (ZR) tai ZigBee End Device (ZED). ZigBee-verkolle on tarjolla kolmea eri verkotopologiaa; tähti, laajennettu tähti, ja Mesh.

Zigbee on suosituin valaistuksen ohjaukseen käytetty langaton yhteysmuoto. Zigbeeen etuja ovat pieni virran kulutus ja pieni vasteaika. Vasteaika on lähettimen ja vastaanottimen välillä kulkeneen valonohjauskäskyn toimitukseen kulunut aika. Vähäinen virran kulutus mahdollistaa antureiden paristoille pitkän eliniän. Zigbee takaa luotettavan ja hyvin suojatun tiedonsiirron, joten se soveltuu hyvin valonohjausjärjestelmien yhteysmuodoksi. ZigBee-verkon suuri laitemäärä sekä helppo verkkoon liittyminen mahdollistavat helposti laajennettavan ja hallittavan verkon. ZigBee-verkossa olevien laitteiden toimintasäde ilman vahvistinta on noin 10–70 m. Zigbee-tekniikalla toimivia valonohjauslaitteita valmistavat muun muassa Philips, Sensor Switch, Crestron ja Control4. [14.]

#### 4.4.2 Z-Wave-protokolla

Z-Wave Alliance (kuva 9, ks. seur. s. ) on yli 160 yrityksen välinen liitto, jonka jäsenet ovat sitoutuneet valmistamaan Z-Wave-tekniikalla varustettuja laitteita. Tuotteita on saatavilla Euroopan ja Amerikan markkinoilla. Suljettu Z-Wave-standardi on saatavilla vain Zensys-yrityksen asiakkaille salassapitosopimuksen nojalla. Valaistuksessa Z-Wave tekniikalla toimivia valonohjauslaitteita valmistavat muun muassa Leviton, Cooper Wiring Devices ja Intermatic.

Z-Wave on yksityisessä omistuksessa oleva suljettu langaton tiedonsiirto-standardi. Se on uusi teknologiaratkaisu, jonka keskeinen ajatus on integroida suuret määrät elektronisia laitteita siten, että niitä voidaan hallinnoida yhdellä kaukosäätimellä. Z-Wave on suunniteltu kodin automaatio-sovelluksia varten kuten: kodinelektroniikka, valaistusjärjestelmät, viihdejärjestelmät, kulunvalvonta ja kodinkoneet.



Kuva 9. Z-Wave-tekniikan logo [15]

Z-Wave kuluttaa niukasti virtaa ja reagoi nopeasti annettuihin käskyihin. Se toimii vähemmän ruuhkaantuneella 900 MHz:n radiotaajuudella. Z-Wave radiosignaalin matalampi toimintataajuus auttaa signaalia läpäisemään esteitä paremmin kuin 2,4 GHz:lla toimivat tiedonsiirtotekniikat. Z-Wave-verkon rakenne perustuu WMesh-verkotukseen, ja se tukee 128-bittistä AES (Advanced Encryption Standard) -kryptausta. AES-kryptaus on toistaiseksi murtamaton lohkosalausmenetelmä, jota käytetään tietotekniikassa.

Z-wavein toimintataajuus on Euroopassa 868 MHz, ja sillä on lupa olla aktiivisena 1 % ajasta, mikä rajoittaa sen tiedonsiirtokapasiteetin 1 %:iin siitä, mitä se voisi olla. Useat yhdyslaitteen asemassa toimivat Z-Wave-laitteet eivät voi mennä lepotilaan, eli ne kuluttavat paljon virtaa. Akkukäyttöiset laitteet eivät sovellu yhdyslaitteiksi, joten ne eivät voi toistaa saamiaan viestejä. Z-Wave-verkko voi koostua enintään 232:sta laitteesta, mutta niitä voidaan tarvittaessa linkittää toisiinsa. [15].

#### 4.4.3 EnOcean-protokolla

EnOcean (kuva 10, ks. seur. s. ) on vuonna 2008 perustettu saksalainen standardoitu ohjausjärjestelmä ilman johtoja ja paristoja. EnOcean allianssiin on liittynyt jo yli 50 jäsentä, ja liittyneiden määrä kasvaa tasaisesti. EnOcean on ympäristön uusiutuvia



energiamuotoja hyödyntävä suljettu standardi, jota käytetään ensisijaisesti erilaisissa automaatiojärjestelmissä.



Kuva 10. EnOcean-logo [16]

EnOcean-tekniikalla toimivat laitteet ovat yhdistelmä pienoiskokoisia energiamuuntimia ja radiotekniikkaa. EnOcean-tekniikan idea on muuntaa ympäristöstä kerätty energia laitteen omaksi toimintaenergiaksi. Anturit ja painikkeet luovat itse toimintaenergiansa *piezo*, elektromagneettisilla- tai aurinkopaneelitekniikoilla. [16.]

EnOcean laitteet toimivat 868,3 MHz:n and 315 MHz:n taajuuksilla, ja niiden toimintä- etäisyys rakennuksen sisällä on noin 30 m.

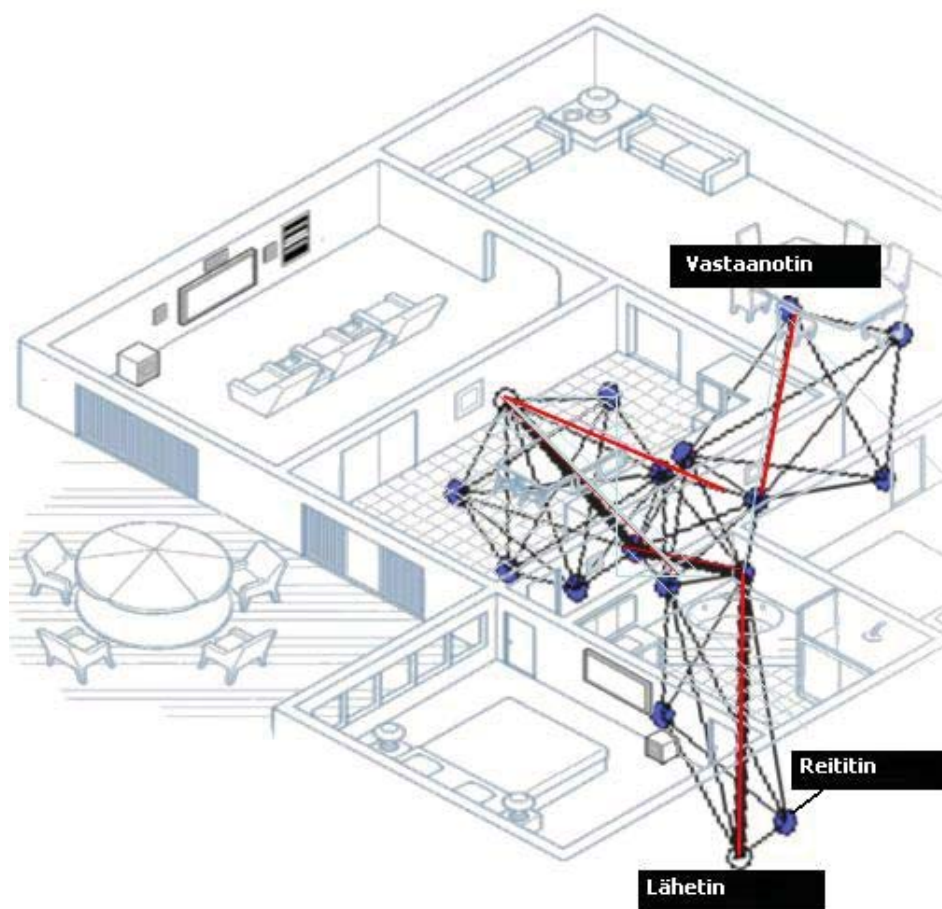
EnOcean tuotteet tuottavat energiansa

- liikkeestä
- paineesta
- valosta
- lämpötilan vaihtelusta
- värinästä.

EnOcean-verkko koostuu lähettimistä, vastaanottimista sekä näiden yhdistelmistä. EnOcean-tekniikkaan perustuvia valonohjauslaitteita tarjoavat yritykset nimeltä Leviton, LEDalite Architectural Products, Illumra, Zumtobel ja Creston, Legrand, Wavensis, Delta Dore, Schneider electric ja Insteon.

#### 4.5 WMesh-verkon ominaisuudet ja edut

Langaton radiotaajuuksilla viestittävä valonohjausjärjestelmä on mahdollista toteuttaa Wireless Mesh (WMesh) eli langattomalla Mesh-verkko tekniikalla (kuva 11). Langattomalle WMesh-verkolle ei ole standardia eikä virallista nimeä. WMesh-verkko tarkoittaa verkkoa, jossa langattomilla tukiasemilla on langattomasti yhteys kaikkiin lähimpiin tukiasemiin, ja tiedonsiirto tapahtuu älykkäästi reitittäen tukiasemalta toiselle. WMesh-verkon sisällä liikkuminen ja tukiaseman vaihtaminen on mahdollista ilman yhteyden katkeamista.



Kuva 11. Langaton Mesh-verkko huoneistossa [13]

Kuvassa 11 on esitetty, kuinka lähettimeltä lähetetty tieto voi kulkea vastaanottimelle useaa eri reittiä pitkin. Tieto kulkee kohti vastaanotinta langattomien reitittimien välityksellä. Reitittimet toimivat tukiasemina, ja ne ovat usein sähkölaitteita kuten lamppuja,

kytkimiä tai antureita. Sähkölaitteiden täytyy tukea samaa yhteysmuotoa eli standardia, jotta ne pystyvät kommunikoimaan keskenään.

Wmesh-verkko on mahdollista toteuttaa usealla eri langattomalla yhteystyypillä. Yleisimmät yhteystyypit ovat IEEE-standardit 802.11 (WLAN), 802.15 (WPAN) ja 802.16 (WiMAX). Wmesh-verkossa kaikki verkkoon liitettyjen laitteiden täytyy tukea samaa yhteystyyppiä. [13.]

WMesh-verkossa tieto voi kulkea useaa kautta kahden pisteen välillä. Yhden reitin katkeaminen ei estä WMesh-verkon laitteiden välistä kommunikointia. Tiedon kulkureitin katketessa käytetään vaihtoehtoista reittiä laitteiden välillä. Wmesh-verkko korjaa yhteyden automaattisesti vikatilanteessa, joka tekee siitä erittäin luotettavan verkko-muodon. Pienessä mittakaavassa toimiva WMesh-verkko voi olla hajautettu rakenteeltaan ilman keskeistä palvelinta. Suurempi järjestely vaatii käyttäjämäärän ja verkkoliikenteen kasvaessa keskitetympää infrastruktuuria, johon kuuluu Internetiin reitittävä palvelin. WMesh-verkon tavoite on laajentaa olemassa olevan WLAN (Wireless Local Area Network) -verkon ominaisuuksia. [17.]

Wmesh-verkon edut ovat seuraavat:

- saumaton ja katkeamaton langaton verkkoyhteys ilmateitse
- reititys
- tietoturva
- verkkoyhteydet alueille, jonne kaapelointi ei kannata
- paikannus.

## 5 Fagerhult Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmä

Fagerhult Wireless e-Sense Connect -järjestelmässä olevat valaisimet ovat ohjausjohtimista vapaita. Päivänvalo- ja läsnäolotunnistimet on integroitu valaisimiin ja valaisimet kommunikoivat keskenään langattomasti radiotaajuuksien välityksellä. e-Sense Connect -järjestelmä on suunniteltu käytettäväksi erityisesti toimistotiloissa ja koulujen luokkahuoneissa.

Wireless e-Sense Connect -järjestelmän tarkoitus on säästää energiaa, tuottaa mahdollisimman laadukas valaistus ja olla käyttäjäystävällinen. Järjestelmän komponenttien valinnoissa on painotettu valaisimien yksinkertaista asennusta, huoltoa ja käyttöä. Järjestelmässä on käytetty kehittyntä valonohjausteknologiaa, ja se on suunniteltu joustavaksi kokonaisuudeksi huomioiden valaistun tilan uudelleenjärjestelyn.

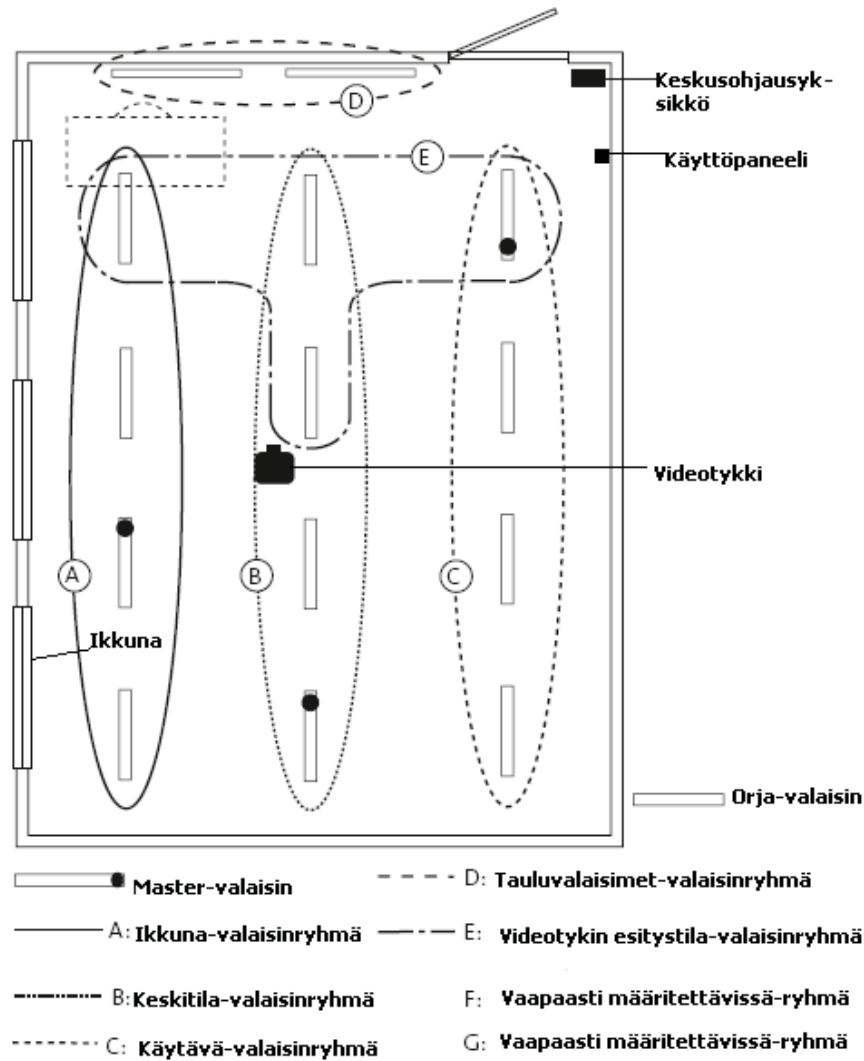
e-Sense Connect -järjestelmän asennus on yksinkertaista, koska järjestelmän valaisimet ovat ohjauskaapeleista vapaita. Valaisimet otetaan käyttöön kytkemällä ne sähköverkkoon ja ryhmittelemällä ne toimintakuntoon kaukosäätimellä.

e-Sense Connect -järjestelmä koostuu langattomia ohjauskäskyjä lähettävistä ja vastaanottavista *master*-valaisimista, langattomia ohjauskäskyjä vastaanottavista orja-valaisimista, radioaaltoviestintää hallitsevasta RF-keskussyksiköstä, valaistuksen käyttöpaneelistä ja ryhmittelyyn tarvittavasta kaukosäätimestä.

e-Sense Connect -järjestelmän valaisimet säätyvät automaattisesti läsnäolotunnistimien ja päivänvalosensoreiden lähettämien ohjaustietojen mukaan tai käyttöpaneelistä tehdyistä säädöistä. Kaikki järjestelmässä tapahtuva ohjausviestintä tapahtuu langattomasti radioaaltojen välityksellä.

### 5.1 e-Sense Connect -järjestelmän toimintaperiaate

Wireless e-Sense Connect -järjestelmä perustuu valaisinryhmistä, jotka keskustelevat keskusohjausyksikön kanssa (kuva 12, ks. seur. s). Kaikkiin valaisimiin on integroitu langattoman viestinnän mahdollistava RF-yksikkö. e-Sense Connect -valaisimet voivat toimia itsenäisesti tai kaukosäätimellä asetetuissa ryhmissä.



Kuva 12. Wireless e-Sense Connect -järjestelmä luokahuoneessa

Kuvassa 12 on esitetty luokahuoneen pohjakuva, jossa yksi vertikaalinen valaisinryhmä sisältää yhden ohjaavan *master*-valaisimen ja kolme orja-valaisinta. Tauluvalaisimet eivät sisällä liiketunnistimia eikä läsnäolotunnistimia, joten ne eivät voi toimia *master*-valaisimina. Tauluvalaisimet toimivat langattomasti vain päälle ja pois-menetelmällä.

*Master*-valaisimet reagoivat ympäristöstä tulevaan valon määrään, tilassa oleskeleviin ihmisiin ja ohjaavat orja-valaisimia RF-keskusyksikön kautta saatujen tietojen mukaan.

*Master*-valaisimiin on integroitu päivänvalotunnistimet, joten ne ohjaavat itseään sekä niiden kanssa samaan ryhmään kuuluvien orjavalaisimien valaistustasoa ympäristöstä

tulevan valon määrän mukaan. Ympäristöstä tuleva valo on tavallisesti ikkunoista säteilevää luonnon valoa.

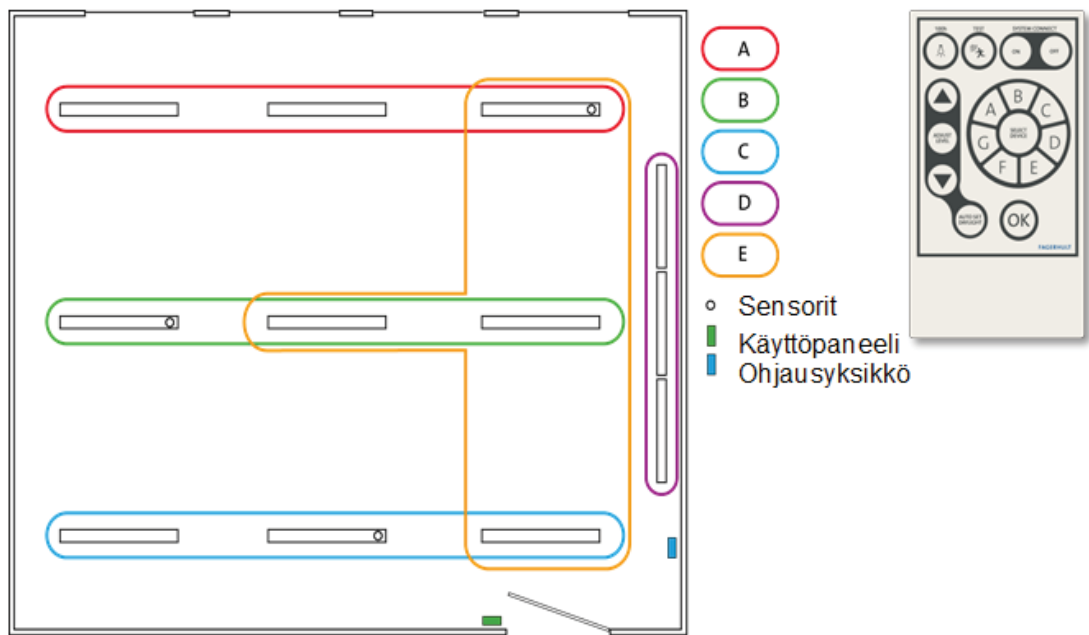
*Master*-valaisimen infrapunatekniikalla toimiva läsnäolotunnistin reagoi lämpösäteilyä lähettävään liikkuvaan kohteeseen. Läsnäolotunnistimen läsnäolohavainto sytyttää kaikki järjestelmän valaisimet lukuun ottamatta tauluvalaisimia. Tilan valaisimet sammuvat ennalta asetetun viiveen jälkeen silloin, kun tilassa ei ole havaittavissa liikettä.

*Master*-valaisimen päivänvalosensori tai liiketunnistin välittää valaisimeen integroidulle RF-yksikölle valonohjaustietoa, jonka RF-yksikkö välittää keskusyksikön kautta orja-valaisimen RF-yksiköille. Orja-valaisimiin integroidut RF-yksiköt ohjaavat valaisimien elektronisia liitäntälaitteita niiden vastaanottamilla valonohjaustiedoilla.

Järjestelmä asetetaan käyttökuntoon ryhmittelemällä valaisimet kaukosäätimellä. Yksi valaisin voi kuulua yhteen tai useampaan ryhmään. Suurimmalle osalle ryhmistä on valittu tehtaalla valmiiksi tietty toiminto, joten nämä ryhmät ovat suorassa viestintäyhteydessä käyttöpaneeliin.

Ryhmät A, B ja C on aina varattu katto- ja yleisvalaistukseen, ja ne sijaitsevat vaihtelevin etäisyyksin päivänvalon lähteestä. Järjestelmästä erillään toimiva Ryhmä D on varattu tauluvalaistukselle. Ryhmä D sammuu poikkeuksellisesti muiden ryhmien mukana läsnäolotunnistimen sammutuskäskystä. Ryhmä E (kuva 13, ks. seur. s. ) sisältää tilan etuosaan kuuluvat valaisimet, joita himmentämällä parannetaan esimerkiksi tilan etuosassa olevalle valkokankaalle projektoidun videon näkyvyyttä.

Järjestelmän uudelleenohjelmointi on mahdollista tehdä aina tarvittaessa, eikä sähkökatkokset hävitä järjestelmään ohjelmoituja säätöjä, koska tiedot tallentuvat pysyvästi valaisimien RF-yksiköiden Flash-muistiin. Flash-muisti on puolijohdemuisti, joka voidaan sähköisesti tyhjentää ja uudelleen ohjelmoida. Järjestelmä on vapaasti muokattavissa siten, että valaisimien toimintoja muutetaan tai valaistavaan tilaan lisätään valaisimia. Tilassa tapahtuneen uudelleenjärjestelyn jälkeen valaisimelle voidaan antaa uusi ryhmätieto, jolloin vanha ryhmätieto korvautuu uudella.



Kuva 13. Wireless e-Sense Connect -järjestelmän ryhmittely kaukosäätimellä [18]; samassa ryhmässä olevat valaisimet on ympyröity samalla värillä; yksi valaisin voi kuulua yhteen tai useampaan ohjattavaan ryhmään

Kauko-ohjaimella tehtävän ryhmittelyn vaiheet ovat seuraavat:

- Suuntaa kaukosäädin ryhmiteltävää valaisinta kohti ja paina *select device*.
- Valitse haluttu ryhmä/ryhmät (A, B, C, D tai E), joihin valaisin tulee liittää.
- Valitse OK-näppäin.

## 5.2 e-Sense Connect -järjestelmän komponentit

### 5.2.1 RF-yksikkö

e-Sense Connect -valaisimissa on integroitu RF-yksikkö (kuva 14, ks. seur. s.), joka lähettää ja vastaanottaa järjestelmässä liikkuvaa valonohjaustietoa noin 2,4 Mhz:n taajuudella. RF-yksiköt keskustelevat keskusohjausyksikön ja kaukosäätimen kanssa kaksisuuntaisella CRMX-tiedonsiirtoteknologialla. RF-yksikkö ohjaa valaisimen elektronista liitäntälaitetta vastaanotettuaan keskusohjausyksiköltä valonohjauskäskyn.

Elektroninen liitäntälaite ohjaa valaisimessa olevien loistelamppujen läpi kulkevaa virtaa ja mahdollistaa niiden syttymisen, sammumisen ja himmentymisen.



Kuva 14. e-Sense Connect -valaisimeen integroitava RF-yksikkö [18]

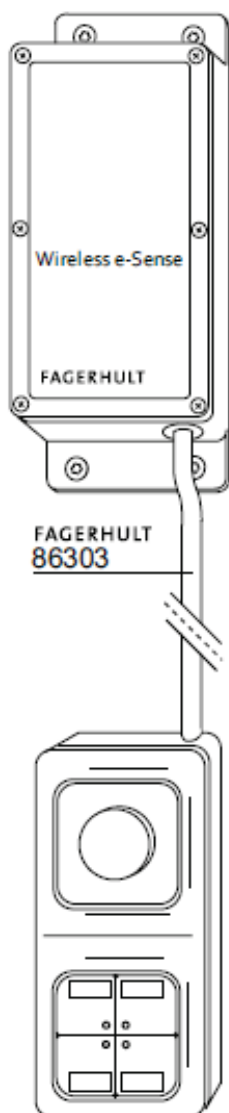
### 5.2.2 Käyttöpaneeli

Markkinoilla on saatavana useita erilaisia katkaisijoita, käyttöpaneeleita (kuva 15) ja painikkeita. Wireless e-Sense Connect -järjestelmä on suunniteltu käytettäväksi sähkökalustevalmistajien tavallisten kalustesarjojen kanssa. Järjestelmässä voidaan käyttää valaistuksen ohjaamiseen painikkeellisia kierrettäviä 1–10 V:n peruspottiometrejä (joissa painamalla toimiva päälle ja pois -kytkin). Ohjauspainikkeilla on mahdollista ohjata verkko- tai pienjännitelaitteistoja ja ne saavat sisältää LED-merkkivaloja. Käyttöpaneeli kytketään keskusyksikköön kiinteästi kaapelilla.



Kuva 15. Elko Oy:n valmistama käyttöpaneeli; käyttöpaneeli on varustettu pyöritettävällä potiometrillä ja neljällä painikkeella, jossa on LED-merkkivalo [18]





Kuva 16. Käyttöpaneelin ja keskusyksikön välinen kaapelointi [18]

Kuvassa 16 on esitetty käyttöpaneeli, keskusyksikkö, ja niiden välinen pienjännitekaapeli. Käyttöpaneeliin ei tuoda muita johtimia (se ei tarvitse erillistä sähkönsyöttöä). Keskusyksikkö tuottaa itse käyttöpaneelin liittimiin tarvittavan 15 V:n tasajännitteen.

### 5.2.3 Keskusohjausyksikkö

Järjestelmän keskeinen koje on keskusohjausyksikkö (kuva 17, ks. seur. s. ), joka toimii linkkinä valaisimien ja ohjaustoimintojen välillä. Ohjausyksikkö ja valaisimien RF-yksiköt keskustelevat 2,4 Ghz:n taajuusalueella.

Ohjausyksikkö pystyy keskustelemaan vähintään viidenkymmenen valaisimen kanssa. Ohjausyksikkö asennetaan ohjattavaan tilaan seinäpinnalle tai piiloon alakaton yläpuolelle. Keskusohjausyksikkö tarvitsee 230 V:n syöttökaapelin (L, N ja PE)



Kuva 17. Wireless e-Sense Connect -keskusohjausyksikkö [18]

#### 5.2.4 Kauko-ohjain

Wireless e-Sense Connect -järjestelmän valonohjausviestintä tapahtuu valaisimien RF-yksiköiden ja keskusohjausyksikön välillä. Kauko-ohjainta (kuva 18) käytetään vain väliaikaisena ohjelmointityökaluna valaisimien ryhmittelyssä järjestelmän käyttöönotto-vaiheessa.



Kuva 18. Radiotaajuuksilla toimiva RF-kauko-ohjain [18]

Järjestelmän perustoiminnot asetetaan kauko-ohjaimen avulla. Valaisimet ryhmitellään osoittamalla niitä kauko-ohjaimella ja määrittelemällä niille ohjausryhmä kaukosäätimen valintapainikkeilla. Kauko-ohjain käyttää viestintään RF-signaaleja, joten se on suunnattava valaisimia kohti vain valaisimien ryhmittelyä tehdessä. Kauko-ohjaimen kantama on esteellisessä ympäristössä vähintään kolme metriä ja esteettömässä ympäristössä kymmenen metriä. Kuvassa 19 esitetään e-Sense Connect -järjestelmän komponentit luokkahuoneessa.



Kuva 19. Wireless e-Sense Connect -järjestelmän rakenne ja laitteisto

### 5.3 e-Sense Connect -järjestelmän toiminnot

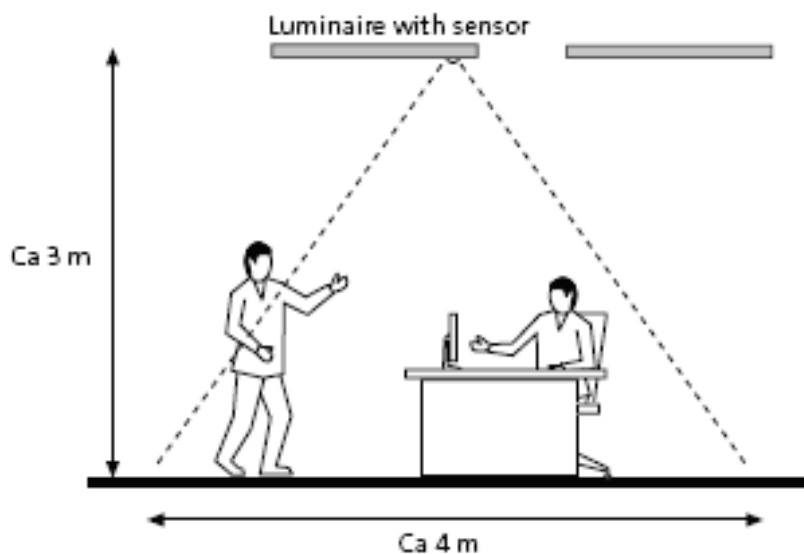
#### 5.3.1 Läsnäolo-ohjaus

e-Sense Connect -*master*-valaisimissa on integroitu läsnäolosensori (kuva 20, ks. seur. s. ), joka sisältää PIR (Passive Infra Red) -moduulin. PIR-moduuli reagoi lämpimään infrapunasäteilyyn eli ihmisen kehon liikkeeseen ja ohjaa valaistusta liikehavaintojen mukaan.



Kuva 20. Fagerhult Ten line -valaisin. Valaisimen pätyyn on integroitu läsnäolotunnistin ja päivänvalosensori [18]

Tarvittavien läsnäolotunnistimien lukumäärä vaihtelee tilan koon mukaan, joten suurissa tiloissa on käytettävä useita *master*-valaisimia, jotta läsnäolotunnistus on riittävän kattavaa. Kuvassa 21 esitetään, kuinka yksi läsnäolotunnistimella varustettu *master*-valaisin kattaa noin 13 m<sup>2</sup> suuruisen lattiapinta-alan.



Kuva 21. Läsnäolotunnistimen kattavuusalue. Kolmen metrin korkeudelle asennettu *master*-valaisin integroidulla läsnäolotunnistimella kattaa lattialta ympyrän muotoisen pinta-alan, jonka halkaisija on neljä metriä [18]

e-Sense Connect -järjestelmässä valaisimet syttyvät luokkahuonesovelluksissa manuaalisesti käyttöpaneelistä ja avotoimistosovelluksissa läsnäolotunnistimen liikehavainnosta. Valaisimien syttymistapa on valittavissa keskusyksikössä olevan DIP-kytkimen avulla. DIP (*Dual In-line Package*) -kytkin on heikkoja virtoja ohjaava, rakenteeltaan pieni ja useampia kytkimiä sisältävä kytkin.

Läsnäolotunnistin ylläpitää käyttöpaneelista säädetyn valaistustason tai asetetun vakiovalaistustason niin kauan, kun tilassa on liikettä. Läsnäolotunnistusta täydentää aikaviive, joka estää valojen tarpeettoman sammumisen, kun liikettä ei ole (esimerkiksi istuessa ja paikallaan työskennellessä).

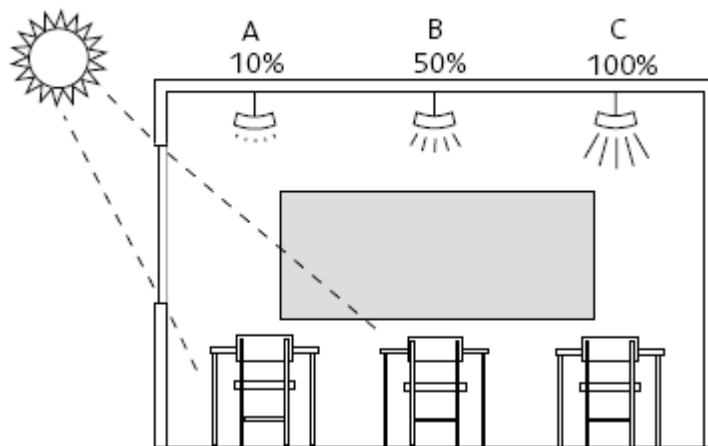
Liikehavaintojen loputtua valaisimet himmenevät säästötilaan ennen sammumista. Valot kirkastuvat liikehavainnosta takaisin aiemmin säädetylle tasolle tai sammuvat, jos liikehavaintoja ei tule viiveajan (15 min) aikana. Säästötilan aikana havaittu liike kaksinkertaistaa sammumisen viiveajan.

### 5.3.2 Päivänvalo-ohjaus

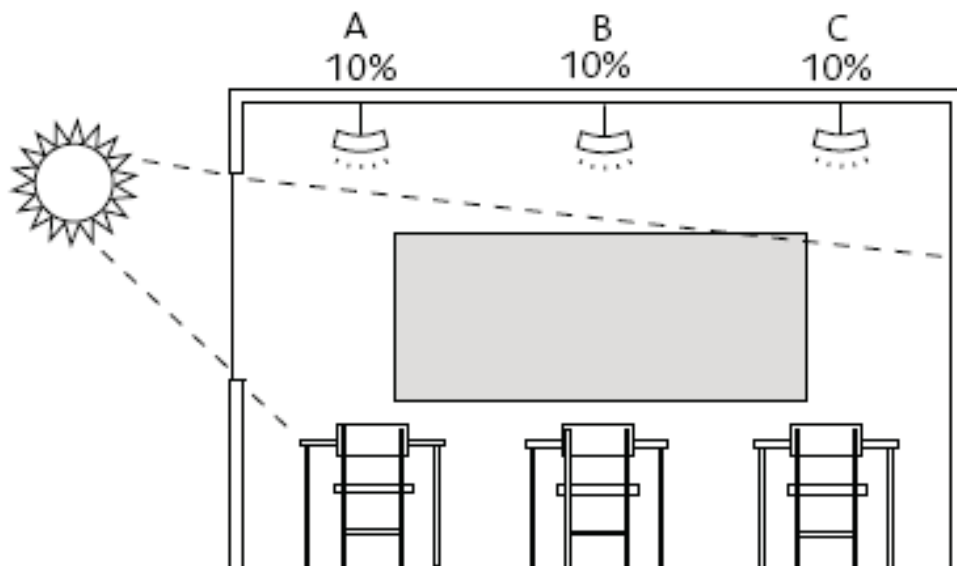
Päivänvalo voidaan jakaa kolmeen komponenttiin eli suoraan auringonvaloon, taivaan hajasäteilyyn sekä maasta ja ympäristöstä heijastuvaan auringon- ja taivaansäteilyyn. Päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus vapaan taivaan alla riippuu tarkastelupaikan säätilasta, leveysasteesta sekä vuoden- ja kellonajasta.

e-Sense Connect on aktiivinen järjestelmä, joka mukauttaa keinovalon määrän ulkoa tulevan päivänvalon mukaan. Valaisimien päivänvalosensorit työskentelevät yhdessä, jotta valaistustasot säilyvät tasaisina koko tilassa.

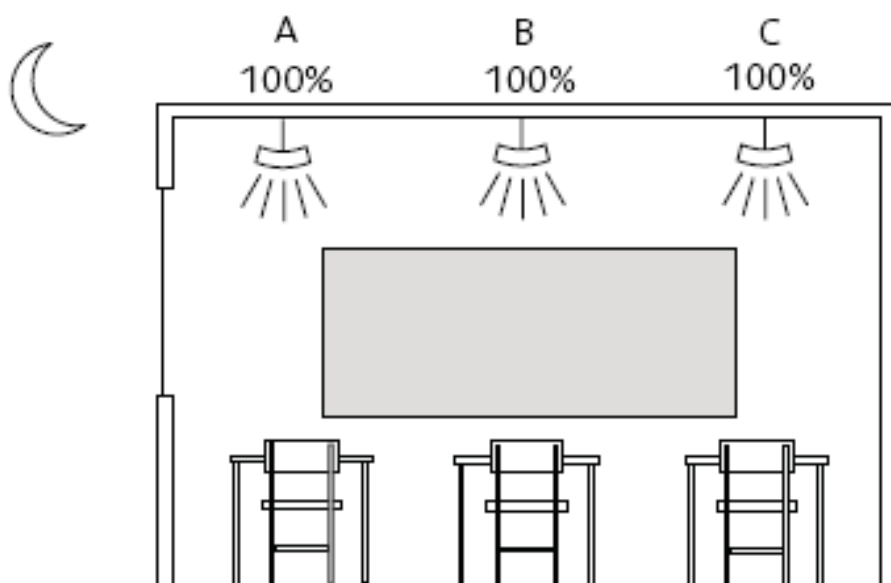
Vakiovalaistustaso (500 lx) asetetaan järjestelmään käyttöönottovaiheessa luksimittarin ja kauko-ohjaimen avulla. Vakiovalaistustaso säädetään järjestelmään poistamalla tilasta luonnonvalo (peittämällä ikkunat), jolloin tilassa on vain valaisimista tulevaa keinovaloa. Vakiovalaistustason määrittämisen jälkeen järjestelmä huomioi sisälle säteilevän auringonvalon vyöhykkeittäin (kuvat 22–24, s. 46–47) auringon säteilykorkeuden mukaan ja takaa oikean määrän valoa kaikissa valaistustilanteissa.



Kuva 22. Päivänvalosensoreiden toiminta; päivänvalon paistaessa ryhmien A ja ryhmän B alueelle ne himmenevät tarpeen mukaan; ryhmän C valaisimet palavat täydellä teholla, koska päivänvalo ei yllä ryhmän tunnistusalueelle [18]



Kuva 23. Päivänvalosensoreiden toiminta; päivänvalon paistaessa tasaisesti luokkaan kaikki ryhmät palavat samalla teholla [18]



Kuva 24. Päivänvalosensoreiden toiminta; päivän valon puutessa valaisimet palavat kaikki ennalta säädetyllä teholla [18]

### 5.3.3 Manuaalinen ohjaus

Wireless e-Sense Connect -järjestelmää voidaan ohjata myös manuaalisesti. Käyttäjä voi halutessaan nostaa ja laskea valaistustasoa tai sammuttaa valot käyttöpaneelistä perinteisesti kierrettävän potentiometrin avulla.

Käyttöpaneeli on myös varustettu neljällä valaistustilanne-painikkeella, joiden avulla on mahdollista valita enintään neljä tehtaalla etukäteen ohjelmoitua valaistustilannetta. Painikkeilla voidaan ohjata valaisinryhmiä D, F, G (päälle ja pois -toimintoja) ja E (esitystilanne). Varsinaista paikan päällä tehtävää tilanteiden ohjelmointia ei ole mahdollista tehdä, vaan valittavissa on vain mihin ryhmään valaisimet kuuluvat, ja tämän jälkeen ne toimivat tehdasasetuksien mukaisesti. Yleisimmät valaistustilanteet ovat siivousvalaistus, projektorivalaistus ja esitystilavalistus. Lähes kaikissa luokahuoneissa käytetään projektoreita tai interaktiivisia SMART board -tauluja. Wireless e-Sense Connect -järjestelmän esitystilanne parantaa kuvanlaatua ja kontrastia valkokankaalla säilyttäen työtasolla hyvän valaistustason lukemiseen ja kirjoittamiseen.

#### 5.3.4 Muiden järjestelmien ohjaus

RF-yksikkö sisältää integroidun releen, joka kykenee ohjaamaan kahden ampeerin sähkökuormaa. Kahden ampeerin sähkökuorma vastaa noin kahta valaisimen liitäntälaitetta. RF-yksikön relettä voidaan käyttää myös DALI-ohjatun valaisimen sammuttamiseen.

RF-yksikön releellä on huomattavasti alempi lepovirta (0,01 W) kuin valaisinta normaalisti ohjaavalla himmentävällä HF-liitäntälaitteella. Kytkemällä valaisin releen kautta sähköverkkoon on mahdollistaa säästää energiaa, kun valaistus on pitkiä aikoja sammutettuna. Releellä on myös mahdollista ohjata himmentämättömiä HF-liitäntälaitteita, joita käytetään esimerkiksi tauluvalaisimissa.

Käyttämällä ulkoista ohjausyksikköä kuten sähkökeskukseen sijoitettua relettä tai kontaktoria, voidaan RF-yksikön releellä ohjata myös muitakin sähkökuormia. Muita yleisesti ohjattavia sähkökuormia ovat muun muassa videotykki, valkokangas, ilmastointi ja moottoroitu verho.

#### 5.4 Langaton e-Sense Connect -teknologia

e-Sense Connect -järjestelmän viestintätaajuudeksi on valittu 2 400,00–2 483,05 MHz:n lisenssivapaa ISM-taajuusalue. Korkealla 2,4 GHz:n taajuudella RF-yksiköiden ja keskusohjausyksikön välinen signaalin vahvuus voidaan asettaa minimiin saavuttaen pienin mahdollinen lähetysteho ja energian kulutus. Korkea taajuus mahdollistaa riittävän tiedonsiirtonopeuden ja viestintäantennien pienen koon. Keskusohjausyksikön ja valaisimen RF-yksikön toimintaetäisyys toisistaan on vähintään 30 m ympäristössä, jossa signaalin kulkua häiritsevät erilaiset esteet, kuten seinät.

Useat laitteet käyttävät ruuhkautunutta lisenssivapaata 2,4 GHz:n taajuusaluetta langattomaan viestintään. Samalla taajuusalueella toimivat laitteet kuten WLAN, erilaiset IT-järjestelmät ja muut langattomat ohjauslaitteet ruuhkauttavat käytettävää tiedonsiirtoa ja aiheuttavat ongelmia laitteiden toiminnassa. Käyttäjälle ruuhkaisuus voi näkyä tiedonsiirtonopeuden laskuna tai yhteyden katkeamisena.



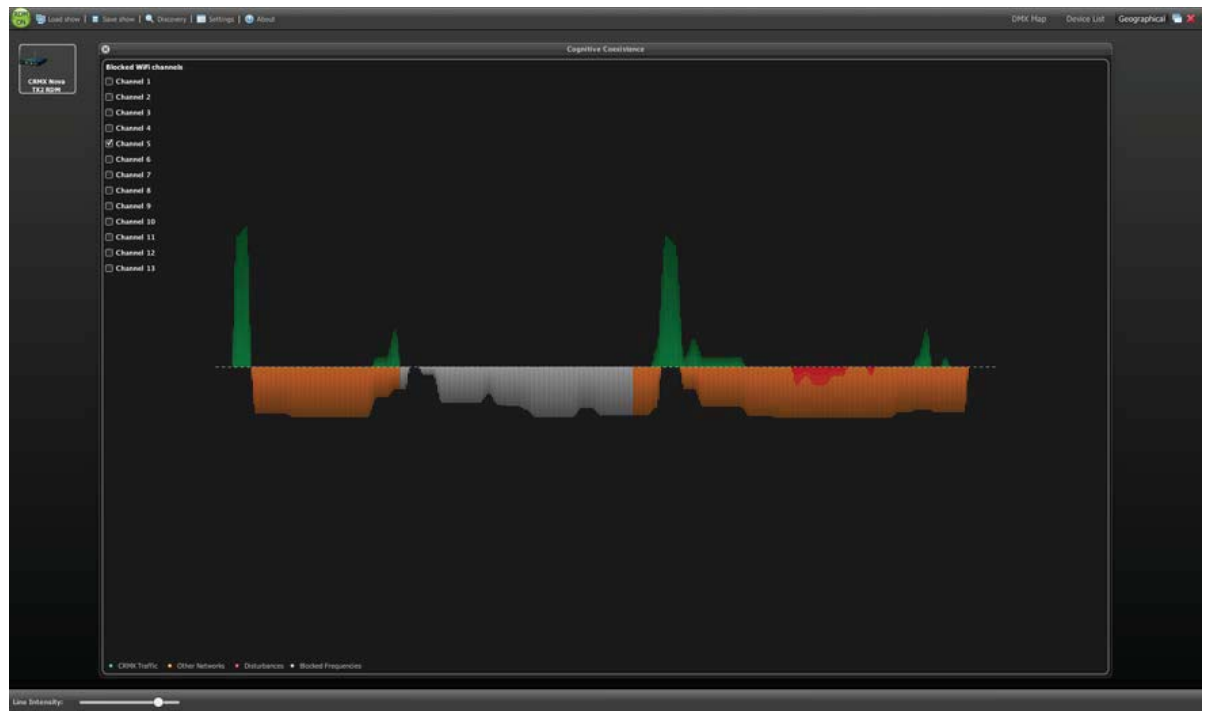
Käyttökuntoon asetetussa järjestelmässä RF-yksiköiden ja keskusohjausyksikön välillä langaton kommunikointi on jatkuvaa. Ohjelmoitaessa järjestelmä käyttökuntoon myös kauko-ohjaimen ja RF-yksiköiden välillä tapahtuu langatonta viestintää.

Wireless e-Sense Connect -järjestelmä käyttää langattomaan viestintään patentoitua CRMX (Cognitive Radio MultipleXer) -teknologiaa, joka eliminoi tehokkaasti signaali-häiriöt ja maksimoi radioviestinnän suorituskyvyn. e-Sense Connect -järjestelmän CRMX-teknologia on älykäs tiedonsiirtoteknologia, joka siirtää kommunikoinnin vapaammalle taajuudelle havaittuaan, muun laitteiston aiheuttamaa, ruuhkauttavaa tiedonsiirtoa. CRMX-teknologian on vuonna 2008 suunnitellut Ruotsalainen Lumen Radio AB (kuva 25).



Kuva 25. Lumen Radio AB:n logo [19]

Kuvassa 26 (ks. seur. s. ) esitetään, kuinka CRMX monitoroi sallittua toimintataajuus- aluetta 1 600 kertaa sekunnissa ja mukautuu automaattisesti ympäristöönsä etsimällä vapaata tilaa radiotaajuusspektrillä. CRMX kiinnittyy vapaalle kaistalle välittämään ja vastaanottamaan DMX (Digital Multiplexing) ja RDM (Remote Device Management) -informaatiota ja varmistaa, että langaton lähetys ei häiriinny tai häiritse muita langattomia järjestelmiä. CRMX lähetin-vastaanotin (kuva 27) mukautuu ympäristöön ilman käyttäjän toimenpiteitä ja maksimoi kaikkien samalla taajuusalueella toimivien järjestelmien toiminnan.



Kuva 26. Radiotaajuusspektri [19]; oranssi alue kuvaa varattua radiotaajuusaluetta; valkoinen suljettua radiotaajuusaluetta; vihreä alue vapaata radiotaajuusaluetta.



Kuva 27. CRMX lähetin-vastaanotin [19]

CRMX-teknologia käyttää GFSK (Gaussian Frequency Dhift Keying) -modulaatiota kantoaallon muokkaamiseen, jolloin binäärinen 1 ja 0 sisällytetään kantoaallon pituuteen poikkeuttamalla kantoaallon perustaajuutta. Modulaatio tarkoittaa tiedon siirtämistä radiotaajuuksilla lähetettävään muotoon. GFSK-modulaatiossa taajuuden muutos on  $\pm 500$  kHz, ja sen virhe saa olla maksimissaan  $\pm 75$  kHz.

## 6 Fagerhult Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän edut

### 6.1 e-Sense Connect -järjestelmän nopea ja yksinkertainen asennus

Sähköurakoitsijan suorittaman sähköurakan kokonaishinta muodostuu suurimmaksi osaksi työ- ja materiaalikustannuksista. Valaistuksen asennuskustannukset riippuvat sähköasennustyön määrästä ja sen vaativuudesta. Valaistusjärjestelmän sähkötyökustannuksia nostavat virhe-asennukset ja valaisimien ohjausjohtimien kaapelointityöt erityisesti rakenteellisesti hankalissa tiloissa. Langatonta tiedonsiirtoa käyttävä Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmä on lähes ohjausjohtimista vapaa järjestelmä, joten se on nopea, yksinkertainen ja edullinen asentaa. e-Sense Connect -järjestelmän ainoa fyysinen ohjauskaapeli sijaitsee ohjainyksikön ja ohjauspaneelin välillä.

Ohjausjohtimilla sekä ulkoisilla liike- ja päivänvalotunnistimilla varustetun valonohjausjärjestelmän asentaminen luokahuoneeseen vie sähköurakoitsijalta noin kahdeksan työtuntia. Ohjausjohtimista vapaan e-Sense Connect -järjestelmän asennusaika on noin 70 % lyhyempi. Langattoman valonohjausjärjestelmän asennukseen kuluva aika on lyhyt etenkin saneerauskohteissa, kun voidaan hyödyntää olemassa olevaa kaapelointia jako- tai pistorasioineen. e-Sense Connect -valaisin voidaan kytkeä sähköverkkoon nopeasti myös sähköpistotulpalla tai Wieland-pistoliittimellä. Langattomien valaisimien ohjaus ei vaadi kiinteistöltä ohjausjohtimellista kaapelointia, joten ylimääräisiltä asennus- ja kaapelointitoilta ja virhekytkentöjen aiheuttamilta lisätoilta välttyään.

Järjestelmän käyttökuntoon ohjelmointi tehdään kauko-ohjaimella ilman tietokoneella suoritettavaa erillistä ohjelmointia. Järjestelmän asennusaika on tehokas ja lyhyt, joten se voidaan asentaa häiritsemättä työkohteen jokapäiväistä toimintaa. Nopea asennus mahdollistaa usean luokahuoneen valaisinasennukset samana päivänä ja tarvittavien korvaavien opetustilojen järjestäminen asennustyön ajaksi minimoituu.

e-Sense Connect -järjestelmän lopullinen käyttökuntoon asettelu eli valaisimien ryhmittely tehdään kauko-ohjaimella. Ohjelmointi eli valaisimien ryhmittely on suunniteltu valonkäyttäjälle yksinkertaiseksi tehtäväksi, joten erillistä ammattilaisen suorittamaa tietokoneohjelmointia ei tarvita. Keskisuuressa toimistotilassa e-Sense Connect -järjestelmän ohjelmointi vie aikaa noin viisi minuuttia.

e-Sense Connect -järjestelmä ei tuo mukanaan yllättäviä piilokustannuksia. Toteutuskustannuksia laskettaessa on usein epävarmoja tekijöitä kuten ohjelmointi- ja huoltokustannukset. Nämä kustannukset voidaan jättää huomioimatta järjestelmän yksinkertaisuuden ansiosta, joten sähköurakan hinta jää alhaisemmaksi ja myös asennustilan siivoustarve on työn jälkeen pienempi.

## 6.2 Langattoman järjestelmän edullisemmat asennuskustannukset

Tässä asennuskustannusvertailussa arvioidaan Talotekniikka-alan sähköasennustöiden työehtosopimuksen mukaisten valaisimien asennusta koskevien yksikköhintojen perusteella, kuinka paljon edullisempi langattomalla valonohjausteknologialla toimivan valaisimen asennus on verrattuna ohjausjohtimellisen valaisimen asennukseen saneerauskohteessa, jossa alkuperäinen valaistus on kolminapaisella kaapeloinnilla toteutettu ohjaamaton valaistus. Asennuskustannusvertailu on toteutettu luokkahuoneeseen sopivilla valaisimilla.

Asennuskustannusvertailussa ei huomioida valonohjausjärjestelmien mahdollisia ohjelmointikustannuksia, vaan siinä keskitytään ainoastaan asennustöihin. Valaisimet ovat kaikki katosta ripustettavia, ja ne sisältävät irrotettavan suojamuovin. Tauluvalaisimet asennetaan työmaalla jonoon jonoasennusvarusteella, jolloin asennuskustannukset arvioidaan samalla tavalla kuin yksittäisasennuksessa. Ohjausjohtimellisille DALI-valaisimille on huomioitu viisinapaisen kaapeloinnin tarve ja kahden ohjausjohtimen (1,5 mm<sup>2</sup>) kytkennät.

Taulukko 3. Talotekniikka-alan sähköasennustoimialan työehtosopimuksen mukaiset valaisinasennuksia koskevat yksikköhinnat [20]

2910 VALAISIMEN ASENNUS				
	Suurin sivupituus 175 cm Valaisimen kiinnityskohtien lukumäärä 1–4	1 Puu	2 Kivi, metalli	3 Kiinnit- tämät- tä
	€/kpl			
11	Paino enintään 3 kg	4,11	4,75	1,94
12	Paino enintään 6 kg	5,62	7,13	2,81
13	Paino enintään 12 kg	6,70	8,21	3,46
14	Erillinen seinävarsi/levy	1,74	3,18	
		1		
21	Ylittävän painon lisähinta aina alkavaa 5 kg kohti	1,30		
22	Ylittävän pituuden lisähinta aina alkavaa 50 cm kohti	1,38		
23	Ylimenevät kiinnityskohdat	1,18		
2911 VALAISIMEN ASENNUKSEEN LIITTYVIÄ LISÄTÖITÄ				
	€/kpl	1		
11	Ryhmäjohtoon jatkaminen enintään 2,5 mm² johdolla	1,77		
12	Ryhmäjohtoon jatkaminen enintään 4–6 mm² johdolla	2,55		
13	MCMK-, FRHF- ja vastaavien johtojen pään kytkentäkuntoon valmistaminen	2,67		
14	Lisähinta rakenteeseen upotettavasta valaisimesta	0,53		
15	Rakenteeseen upotettavan valaisinsyvennyksen tai pintaan asennettavan valaisimen kiinnitysalustan mitoitus ja/tai teon valvonta	0,86		
16	Lisähinta valaisimesta, jossa on myös pistorasia/kytkin	1,16		
17	Lumi- tai tippuvesisuojan asennus	1,08		
18	Ylimenevät osat	0,39		
19	Valaisimen alle asennettavan kiskon asennus ja katkaisu/m	2,95		
20	Lisähinta loistelampun asennuksesta vesitiiviisiin pitiimiin	0,67		
21	Valaisinkohtainen johtimien sukitus	0,88		
22	Ripustustangon, ketjun tai vaijerin katkaisu ja valmistaminen	0,59		
23	Heijastimen suojamuovin poistaminen / valaisin	0,59		

Taulukko 4. Talotekniikka-alan sähköasennustoimialan työehtosopimuksen mukaiset valaisinasennuksia koskevat yksikköhinnat [20]

2510 JOHTOJEN JA JOHTIMIEN KYTKENTÄ					
Johdinpoikkipinta mm <sup>2</sup>		1	2	3	4
		Johtimet	Johdot	MCMK, ar-meerautut tai vast.	Erillinen liitin
	€/johdin				€/liitin
11	enintään 1,0	0,24	0,29	0,33	0,15
12	enintään 1,5	0,49	0,79	1,38	0,28
13	enintään 2,5	0,59	0,88	1,57	0,32
14	enintään 6	0,75	1,02	1,87	0,41
15	enintään 16	1,02	1,49	2,36	0,56
16	enintään 35	1,69	2,26	3,14	0,76
17	enintään 70	2,28	2,95	4,03	1,30
18	enintään 120	2,95	3,63	5,11	1,84
19	enintään 185	3,65	4,34	5,99	2,59
20	enintään 300	5,38	6,07	8,05	3,24
21	enintään 500	8,05	8,31	9,04	4,11
22	enintään 800	12,89	13,18	13,36	6,27

Taulukko 5. Luokkahuoneen valaisintaulukko.

Malli	Suurimman sivun pituus (mm)	Paino (kg)	Asennuskorkeus (m)	Kpl
DTI Type 2 Beta (2 x 28 W)	1365	2,8	3,5	9
Lento (2 x 28 W)	2448	5,3	2,3	2

Ohjausjohtimista vapaiden e-Sense Connect -valaisimien TES-mukaiset asennushinnat (alv 0 %) yksikköhinnoittelun mukaan:

DTI Type 2 Beta (2 x 28 W)

$$= 2910.11.1 + 2 * 2911.22 + 2911.23$$

$$= 4,11 \text{ €} + 2 * 0,59 \text{ €} + 0,59 \text{ €} = 5,88 \text{ €/kpl}$$

Lento (2 x 28 W)

$$= 2910.12.1 + 2 * 2911.22 + 2911.23$$

$$= 5,62 \text{ €} + 2 * 0,59 \text{ €} + 0,59 \text{ €} = 7,39 \text{ €/kpl}$$

Ohjausjohtimellisten DALI-valaisimien TES-mukaiset asennushinnat (alv 0 %) yksikköhinnoittelun mukaan:

DTI Type 2 Beta (2 x 28 W)

$$= 2910.11.1 + 2 * 2911.22 + 2911.23 + 2911.12 + 2 * 2510.12$$

$$= 4,11 \text{ €} + 2 * 0,59 \text{ €} + 0,59 \text{ €} + 2,55 \text{ €} + 2 * 0,49 = 9,41 \text{ €/kpl}$$

Lento (2 x 28 W)

$$= 2910.12.1 + 2 * 2911.22 + 2911.23 + 2911.12 + 2 * 2510.12$$

$$= 5,62 \text{ €} + 2 * 0,59 \text{ €} + 0,59 \text{ €} + 2,55 \text{ €} + 2 * 0,49 = 10,92 \text{ €/kpl}$$



Asennuskustannuksien yhteenveto:

Ohjausjohtimista vapaa DTI Type 2 Beta (2 x 28 W) -valaisin = 5,88 €/kpl

Ohjausjohtimellinen DTI Type 2 Beta (2 x 28 W) -valaisin = 9,41 €/kpl

Ohjausjohtimista vapaa Lento (2 x 28 W) -valaisin = 7,39 €/kpl

Ohjausjohtimellinen Lento (2 x 28 W) -valaisin = 10,92 €/kpl

Arvioidut säästöt asennuskustannuksissa yhtä DTI-valaisinta kohden on

$$1 - (5,88 / 9,41) = 0,375 = 37,5 \%$$

Arvioidut säästöt asennuskustannuksissa yhtä Lento-valaisinta kohden on

$$1 - (7,39 / 10,92) = 32,3 \%$$

Langattomien valaisimien asennuskustannuksissa vältetään ohjausjohtimien kaapelointiyöt. Asennettaessa ohjausjohtimellisia valaisimia saneerauskohteeseen, jossa alkupe-  
räinen valaistus on ohjaamaton, joudutaan kolminapainen kaapelointi vaihtamaan vii-  
sinapaiseen kaapelointiin.

Ohjausjohtimellisen valaistuksen lisäkaapelitöitä saneerauskohteessa ovat

- vanhan kolminapaisen kaapeloinnin poistaminen
- uuden viisinapaisen kaapeloinnin lisääminen (ryhmäjohton jatkaminen enintään 6 mm<sup>2</sup> kaapelilla)
- kahden DALI-ohjausjohtimen (enintään 1,5 mm<sup>2</sup>) kytkeminen yhtä valaisinta kohden.

Asennuskustannuksien arvioinnissa ei ole huomioitu vanhan kolminapaisen kaapeloinnin poistokustannuksia. Kolminapaisen kaapeloinnin poistokustannukset kasvattavat langattomien valaisimen säästöjä asennuskustannuksissa. Viisinapaisen kaapeloinnin asentaminen voi olla hankalaa, jos uudet kaapelit eivät mahdu alkuperäisiin läpivienteihin tai johdotusputkituksiin. Asennusta vaikeuttava tekijät kasvattavat valaistuksen asennuskustannuksia.

Ruotsissa toimivan Fagerhults Belysning AB:n tekemän selvityksen mukaan DALI-ohjauksella toteutetun valaistuksen asennuskustannukset keskikokoisessa luokahuoneessa ovat keskimäärin 418 € kalliimmat kuin langattomalla teknologialla toteutetun järjestelmän asennuskustannukset. [21.]

### 6.3 Langattoman e-Sense Connect -teknologian luotettavuus

e-Sense Connect -järjestelmä tarjoaa häiriötöntä ja luotettavaa tiedonsiirtoa langattomien valaisimien välillä. Samoilla toimintataajuuksilla toimivat langattomat laitteet ja järjestelmät ruuhkauttavat käytettävää tiedonsiirtokaistaa ja aiheuttavat usein toisilleen toimintahäiriöitä. Wireless e-Sense Connect -järjestelmässä tiedonsiirtoruuhkan tuomat ongelmat on ratkaistu käyttämällä valaisimien langattomassa viestinnässä patentoitua CRMX-järjestelmää, joka monitoroi sallittua toimintataajuuksialuetta ja siirtää lähetystaajuuden dynaamisesti optimaaliselle taajuudelle. CRMX-teknologia eliminoi langattomat yhteyshäiriöt ja maksimoi kaikkien samalla taajuuksalueella toimivien järjestelmien toiminnan.

e-Sense Connect -järjestelmän kauko-ohjain välittää ohjauskäskyt valaisimille radiotaajuuksien välityksellä. Kauko-ohjauksen kantama on pitkä ja ohjauskäskyt kulkeutuvat perille luotettavasti.

e-Sense Connect -valaisimien RF-liitäntälaitteet pidentävät loistelamppujen ikää ja pienentävät energian kulutusta. e-Sense Connect -valaisimet kestävät hyvin ympäristön lämpötilavaihtelut.

#### 6.4 e-Sense Connect -järjestelmän huollettavuus

e-Sense Connect -järjestelmän huoltokustannukset ovat pienet järjestelmän yksinkertaisuuden vuoksi. Kaikki e-Sense Connect -järjestelmään liittyvät komponentit sijaitsevat samassa tilassa, joten ne ovat helposti löydettävissä ja huollettavissa. e-Sense Connect -valaisin on mahdollista kytkeä irti järjestelmästä huoltotoimenpiteitä varten häiritsemättä järjestelmän toimintaa. Valaisin voidaan kytkeä takaisin osaksi järjestelmää ilman koko järjestelmän kattavaa uudelleenohjelmointia.

Wireless e-Sense Connect -järjestelmän ainoa kytkentä on 12-napainen heikkovirta-kaapeli käyttöpaneelin ja ohjausyksikön välille. Vähäinen tarve kaapelitöille takaa toimintavarmat ja virheettömät kytkennät, joten kytkentävirheiden määrä minimoituu. e-Sense Connect -järjestelmällä vältetään sähkövian etsimiseen kuluva aika, kun vian syynä on kytkentävirhe.

#### 6.5 e-Sense Connect -järjestelmän käyttäjäystävällisyys

e-Sense Connect -järjestelmä on monipuolisista valonohjaustoiminnoista koostuva loogisesti käytettävä kokonaisuus. Luokkahuonesovelluksissa järjestelmän valot sytytetään manuaalisesti käyttöpaneelistä, jonka jälkeen se toimii itsenäisesti. Avotoimistoversion sovelluksissa järjestelmän valot syttyvät automaattisesti läsnäolotunnistimien liikehavaintojen perusteella. e-Sense Connect -järjestelmä sammuu ja palautuu läsnäolotunnistimien liikehavaintojen perusteella ja ylläpitää tilaan asetetun valaistustason päivänvalo-ohjauksen avulla. Järjestelmän toiminta ei vaadi käyttäjältä toimenpiteitä.

Käyttäjän on myös mahdollista ohjata valaistusta manuaalisesti käyttöpaneelistä. Järjestelmän käyttöönotto ja käyttäminen on suunniteltu käyttäjälle mahdollisimman yksinkertaiseksi. e-Sense Connect -järjestelmä sopii hyvin myös luokkahuonetiloihin, jotka ovat iltakäytössä aikuisopiskelijoilla tai kerholaisilla, koska sen käyttäminen on helppoa ja loogista.

## 6.6 e-Sense Connect -järjestelmän monipuoliset asennusmahdollisuudet

Wireless e-Sense Connect -järjestelmää voidaan helposti muokata valaistavan tilanmuutostöiden tai uudelleenjärjestelyjen jälkeen. Ohjausjohtimista vapaat valaisimet voidaan asettaa parhaaseen mahdolliseen sijaintiin ilman ohjausjohtimien aiheuttamia rajoittavia tekijöitä. e-Sense Connect -järjestelmästä voidaan vaivatta poistaa tai lisätä valaisimia ja niiden uudelleenryhmittely voidaan tehdä aina, kun on tarvetta.

e-Sense Connect -järjestelmän asentaminen on mahdollista myös saneerauskohteissa, joissa ohjauskaapeloinnin asentaminen on haasteellista kiinteistön rakenteellisista ominaisuuksista johtuen. e-Sense Connect -järjestelmä voidaan myös asentaa kohteisiin, joissa halutaan, että rakennuksien sisäkatot jäävät ehjiksi ja puhtaiksi kaapeleiden läpivienneistä sekä läsnä- ja päivänvalotunnistimista.

## 6.7 e-Sense Connect -järjestelmän energiatehokkuus ja edut ympäristölle

Wireless e-Sense Connect -järjestelmän päivänvalo-ohjaus yhdistettynä läsnäolotunnistukseen tarjoaa merkittäviä energiansäästömahdollisuuksia. Säästöt riippuvat vuodenajasta, tilaan asetetusta vähimmäisvalotasosta, tilan ikkunoiden koosta ja läsnäolotunnistimien havainnoista.

Valaisimien automaattinen himmentäminen päiväsaikaan ja läsnäolo-ohjaus pienentävät sähkönkulutusta ja vähentävät ilmastoidun tilan jäähdytystarvetta. Päivänvalo-ohjaus kompensoi myös valaistusjärjestelmän mahdollisen ylimitoituksen. Läsnäolotunnistimet ja päivänvalo-ohjaus säästävät yhdessä jopa 65 % [2].

Valaistuksen ympäristövaikutuksen arviointi perustuu järjestelmän energiatehokkuuteen ja luonnon resurssien mahdollisimman pieneen käyttöön. e-Sense Connect -järjestelmän on ohjausjohtimista vapaa järjestelmä, joten se tarvitsee vähemmän kaapeleita, muoveja ja kuparia, kuin ohjausjohtimellinen järjestelmä.

Valaistuksen valmiustilakulutus on minimoitu e-Sense Connect -järjestelmässä poistamalla liitántälaitteiden jännite, kun valot ovat sammutettuina. Jännitteettömät liitántälaitteet vähentävät valmiustilakulutusta 97 % (0,35 W:sta 0,01 W:iin) [18].

## 6.8 Enemmän hyvinvointia ja työtehokkuutta ilman lisäkustannuksia

Valo vaikuttaa käyttäytymiseen, uni-valverytmiin, vireystilaan ja mielialaan. Elimistön sisäiset kellot tahdittavat solunjakautumista, aineenvaihduntaa, hormonien eritystä, hermosolujen välittäjäaineiden ja kasvutekijöiden tuotantoa. [22.]

Valon ja hyvinvoinnin yhteys on todistettu vuonna 2002, Yhdysvalloissa, Brownin yliopiston tutkijan, David Bersonin tekemän tutkimuksen perusteella. David Berson havaitsi, että silmässä on tappi- ja sauvasolujen lisäksi kolmannen tyyppisiä valoherkkiä ipRGC (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cell) -reseptorisoluja. Nämä aistinsolut eivät välitä visuaalista informaatiota, vaan vaikuttavat hormonituotantoon ja vuorokausirytmien säätelyyn. Tutkimuksen mukaan valonsaannin ja hormonitasapainon välillä on selkeä yhteys. Valon määrä vaikuttaa näin terveyteemme ja hyvinvointiimme. Valoisissa olosuhteissa olemme vireämpiä, iloisempia ja valppaampia.

Vuosina 2009–2010 Fagerhults Belysning AB teki tutkimuksen Lundin teknisen korkeakoulun ja University College Londonin kanssa. Tutkimuksessa tutkittiin ympäröivän valon merkitystä oppimiseen. Tutkimuksessa lisättiin lontoolaisen ala-asteen luokkahuoneen ympäröivän valon määrää valaisemalla tavanomaista voimakkaammin luokan seiniä ja kattoa. Oppilaiden suorituksia ja hyvinvointia seurattiin vuoden ajan haastattelujen ja kehon kortisolipitoisuus-mittauksien avulla. Tutkimustuloksia verrattiin oppilaisiin, jotka olivat työskennelleet saman lukujärjestyksen mukaan luokkahuoneessa, jossa oli tavallisilla valaistustasoilla varustetut valaisimet. Tutkimus osoitti, että korkea ympäröivän valon määrä parantaa oppilaiden oppimistuloksia ja parantaa heidän hyvinvointia. [23.]

Fagerhults Belysning AB:n tekemässä tutkimuksessa Lontoossa 2009–2010 osoitettiin, että valon laatua ja määrää voitiin selvästi parantaa tehokkaan ohjausjärjestelmän avulla. Ympäröivän valon määrän nostaminen yli standardin SFS-EN 12464-1 vaatimusten ei lisännyt energian kulutusta vaan se väheni yli 30 %. Wireless e-Sense Connect -järjestelmällä on mahdollista nostaa tilan ympäröivän valon määrää ilman suurentuneen valaistustehon tuomia lisäkustannuksia. Päivänvalo- ja läsnäolo-ohjauksien tuomat energiansäästöt kompensoivat ympäröivän valon tuottamiseen tarvittua energiaa. [24.]

## 7 Wireless e-Sense Connect -valaistuksen suunnitteleminen luokkahuoneeseen

### 7.1 SFS-EN 12464-1 -standardin valaistusvaatimukset

Kirjoittaminen, lukeminen ja opetuksen seuraaminen valkokankaalta tai taululta ovat luokkahuoneissa keskeisiä näkötehtäviä. Koulujen luokkatiloissa tyypillisimmät valaistustarpeet ovat taululle kohdistettu valaistus, pulpettityöskentelyn vaatima valo ja kirkas yleisvalo siivousta varten. Valaistussuunnittelulla pyritään takaamaan standardien mukaiset valaistustasot luokkahuoneessa ja estämään näkemistä vaikeuttavat kiiltohäiriöt pulpettitasolla ja heijastukset taululta.

Suomen Standardisoimisliiton standardi (SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus) määrittelee tiloille, työkohteille, työkohteen lähiympäristöille ja tausta-alueille seinien ja katon valaistusvoimakkuuden ja tasaisuuden vähimmäisarvot, häikäisyn UGR-arvon ja värintoistoindeksin. Standardissa annetaan myös vaatimukset valon luminanssijakaumalle.

Välittömällä lähiympäristöllä tarkoitetaan vähintään 0,5 metrin levyistä aluetta työalueen ympärillä. Lisäksi tulee huomioida tausta-alueen valaistusvoimakkuus, jonka tulee olla vähintään  $\frac{1}{3}$  välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. Tausta-alueella tulee tasaisuuden olla vähintään 0,1.

Tasaisuus ( $U_0$ ) määritetään  $\frac{E_{min}}{E_m}$ .  $E_{min}$  on valaistusvoimakkuuden alin sallittu arvo ja  $E_m$  on valaistusvoimakkuuden keskiarvo.

Standardin mukaan häikäisyn raja-arvot määritetään UGR-menetelmän avulla. Häikäisyindeksi lasketaan seuraavasti:

$$UGR = 8 \log_{10} \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2}$$

$L_b$  on taustan luminanssi (cd / m<sup>2</sup>).

$L$  on valaisimien valaisevien osien luminanssi havainnoitsijaa

kohti (cd / m<sup>2</sup>).

$\omega$  on se avaruuskulma, jossa tarkasteltavan valaisimen valaisevat osat näkyvät havainnoitsijan silmään.

$p$  on jokaisen yksittäisen valaisimen sijaintikerroin, joka on verrannollinen valaisimen sijainnin poikkeamaan katsesuunnasta. Valaisimen ollessa katsesuunnassa sijaintikertoimen arvo on 1 ja kerroin on sitä suurempi, mitä kauempana valaisin sijaitsee katsesuunnasta.

Häikäisyindeksin laskennan tuloksena saadaan kiusahäikäisyn voimakkuuden mukaan tulos 10–28. UGR-arvo 10 tarkoittaa mahdollisimman pientä kiusahäikäisyyä ja 28 mahdollisimman suurta. Mitä pienempi häikäisyn UGR-arvo on, sitä paremmin häikäisysojattuja valaisimia tulee käyttää..

Luminanssi ( $\text{cd/m}^2$ ) kuvaa pinnalta lähtevää valon voimakkuutta eli pinnan kirkkautta. Se kertoo valovoiman suuruuden tarkastelusuunnassa pinta-alaa kohti. Pinnan heijastussuhde ja valaistusvoimakkuus määräävät luminanssin suuruuden.

Luminanssijakauma vaikuttaa silmien sopeutumiseen tilassa tai työympäristössä. Tasapainoinen luminanssijakauma parantaa näöntarkkuutta, kontrastiherkkyttä sekä näköaistin toimintojen tehokkuutta. Suuret luminanssit ja kontrastit voivat aiheuttaa häikäisyyä ja näköväsymystä. Matalat luminanssit ja kontrastit tekevät näköympäristön yksitoikkoiseksi. Hyvään luminanssijakaumaan pyrittäessä tulisi välttää suuria luminansseja ja luminanssieroja.

Yleinen värintoistoindeksi ( $R_a$ ) kuvaa valonlähteiden värintoisto-ominaisuuksien tasapuolisuutta. Sen suurin arvo on 100, ja arvo pienenee värintoisto-ominaisuuksien heiketessä. Pitkäaikaiseen oleskeluun tarkoitetuissa tiloissa ei tulisi käyttää arvoltaan alle 80:n lamppuja. Hyvä värintoistokyky takaa, että ympäristön ja siinä olevien kohteiden väri toistuu oikeana ja luonnollisena.

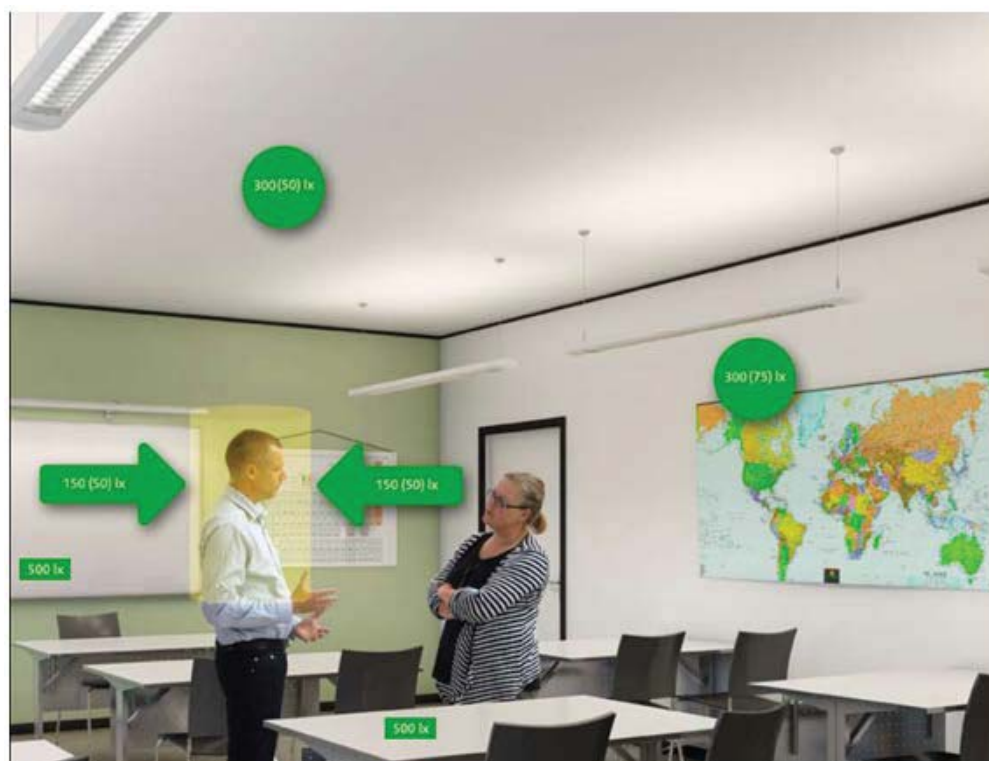
Taulukko 6. Opetustilojen valaistusratkaisujen määrälliset ja laadulliset vaatimukset SFS-EN12464-1-standardin mukaan.

Tila, tehtävä tai toiminta	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Erityisvaatimukset
Luokkahuoneet, opetustilat	300	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Luokkahuoneet iltaikäytössä ja aikuisopiskelijoille	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Auditorio, luentosali	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä erilaisiin A/V -tarpeisiin
Liitutaulut ja kirjoitustaulut	500	19	0,70	80	Suuntaheijastumisia on vältettävä Esiintyjä/opettaja on valaistava sopivalla pystysuoralla valaistusvoimakkuudella

Taulukosta 6 nähdään, että standardi määrittelee ilta- ja aikuisopiskelijoiden käytössä olevien luokkahuoneiden työtasoille 500 lx valaistustason, jonka tasaisuus on  $>0,6$ . Standardi määrittelee tauluvalaistuksen vähimmäisvalaistusvoimakkuudeksi 500 lx, jonka tasaisuus on  $>0,7$ , jotta luokan edessä olevalla taululla esitettävät tiedot olisivat helposti luettavissa. Tauluvalaistuksen tulee olla standardin mukaan myös päälle ja pois -ohjattava. Värintoisto indeksi ( $R_a$ ) täytyy opetustiloissa olla vähintään 80 ja UGR-häikäisyindeksi enintään 19.

Standardi määrittelee sylinterivalaistusvoimakkuuden vähimmäistasot tiloihin, joissa vaatimuksena on mahdollisuus hyvään visuaaliseen viestintään. Sylinterivalaistusvoimakkuus vaikuttaa visuaaliseen viestintään eli mahdollisuuteen tulkita kasvoja, tapahtumia ja kohteita. Standardi määrittää sylinterivalaistusvoimakkuuden minimiarvoksi oppimistiloissa 150 lx.





Pinnat	SFS-EN 12464-1 Minimitaso	SFS-EN 12464-1 Koulutustilat	Fagerhult-tutkimus suosittelee
Työtasot	500 lx	-	-
Katto	30 lx	50 lx	300 lx
Seinät	50 lx	75 lx	300 lx
Tauluvalaistus	500 lx	-	-
Sylinterivalaistusvoimakkuus	50 lx	150 lx	-

Kuva 28. Fagerhult-tutkimuksen suositamat valaistusvoimakkuudet (lx); SFS-EN 12464-1 suositaa minimi valaistusvoimakkuudet koulutustilojen pinnoille. Fagerhult-tutkimus suositaa erityisesti epäsuoran valaistuksen lisäämistä katto- ja seinäpinnoille.

SFS-EN 12464-1-standardin määrittämät valaistustasot ovat hyvä lähtökohta valaistus-suunnittelulle, mutta Fagerhults Belysning AB:n tekemien tutkimusten mukaan valon positiivisten vaikutusten täysimittainen hyödyntäminen edellyttää voimakkaampia valaistustasoja, etenkin seinä- ja kattopinnoille (kuva 28).

Standardi vaatii työtasoille 500 lx valaistustason, jonka tasaisuus on  $>0,6$ . Kattojen epäsuoran valaistuksen eli ympäröivän valon minimivaatimus on 30 lx ja suositus koulutustiloissa on vähintään 50 lx. Seinäpintojen minimivaatimus on 50 lx ja suositus koulutustiloissa 75 lx. Fagerhult-tutkimuksessa todettujen positiivisten vaikutusten saavuttamiseksi tulee katto- ja seinäpintojen valaistusvoimakkuuksien olla vähintään 300 lx.

## 7.2 Aleksis Kiven koulun luokkahuoneen valaistussuunnittelu

Aleksis Kiven koulun luokkahuoneen 402 valaisimien valontuottoa ja energiatehokkuutta pidetään riittämättömänä, joten luokkahuoneeseen on suunniteltu valaistuksen saneeraus kesällä 2013. Saneerauksen tarkoitus on uudistaa valaistus nykyaikaiseksi ja energiatehokkaaksi.

Luokkahuoneeseen päätettiin asentaa langaton e-Sense Connect -järjestelmä. Luokkahuoneen toteuttaminen uudella e-Sense Connect -järjestelmällä luo mahdollisuuden arvioida järjestelmän toimintaa ja ominaisuuksia.

Luokkahuoneen alkuperäinen valaistus koostuu viidestätoista (2 x 58 W) kattopintaan asennetusta loistelamppuvalaisimesta, jotka on sijoitettu kolmeen jonoon. Valaisimet on varustettu magneettisilla kuristimilla, sytyttimillä ja kompensointikondensaattoreilla, ja ne ovat ohjattavissa vain päälle ja pois -menetelmällä.

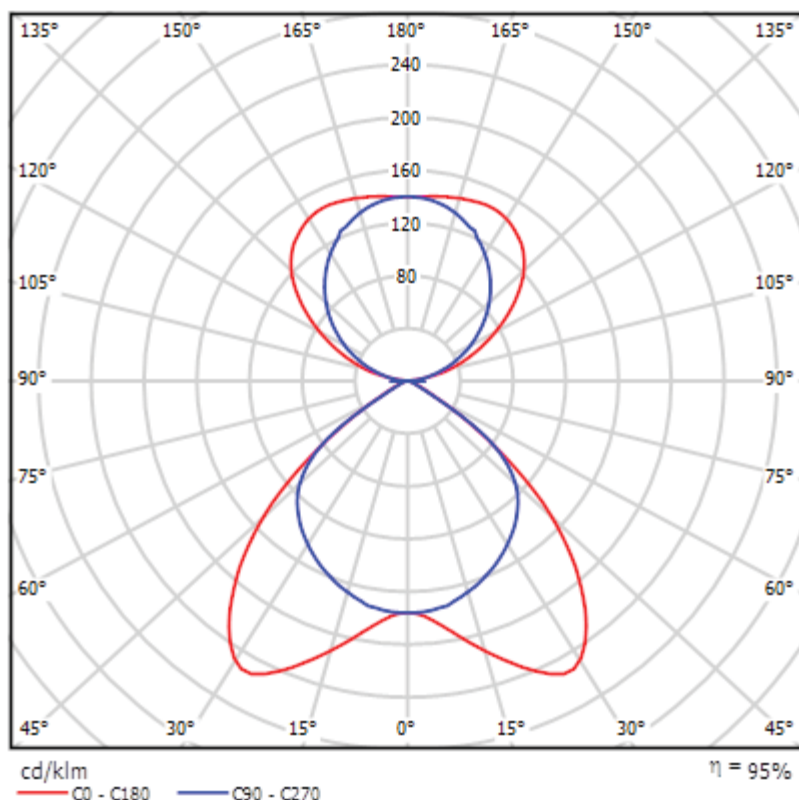
Valaistussuunnittelun avulla selvitettiin, kuinka valaistuksesta saataisiin energiatehokas ja SFS-EN 12464-1-standardin mukainen.

### 7.2.1 e-Sense Connect -järjestelmän valaisintyyppien määrittäminen

Aleksis Kiven koulun luokkahuoneen Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmää suunniteltaessa määritettiin aluksi valaisintyytit, joilla tila halutaan valaista. Valaisimien valonlähteiden värieläpötilaksi valittiin 4 000 K ja värintoistoindeksiksi ( $R_a$ ) 80.

Luokkahuoneen yleisvalaistukseen sopivat hyvin valaisimet, jotka antavat sekä suoraa, että epäsuoraa valoa ja joiden valaistushyötysuhde ( $\eta$ ) on korkea. Valaisimesta ylöspäin säteilevää valoa kutsutaan epäsuoraksi valoksi, koska varsinainen valonlähde ei näy, ja valo ei tule tilaan suoraan, vaan se heijastetaan tilaan katto- ja seinäpintojen kautta. Epäsuora valo antaa tilaan miellyttävän ja tasaisen valaistuksen.

Luokkahuoneeseen valittiin yleisvalaisimiksi ripustettavat DTI Type 2 Beta (2 x 28 W T16) -valaisimet, jotka säteilevät 50 % valotehostaan alaspäin ja 50 % valotehostaan ylöspäin (kuva 29 ks. seur. s. ).



Kuva 29. 28822 Fagerhult DTI Type 2 Beta (2 x 28 W T16) -valaisimen valonjakokäyrä. Valonjakokäyrästä nähdään, että valaisin säteilee valoa sekä ylös- että alaspäin. Valaisimen valaistushyötysuhde ( $\eta$ ) on 95 %. Suhteellinen valovoiman suuruus alaspäin kulmassa  $I_{0^\circ}$  on noin 140 cd/1 000 lm, ylöspäin kulmassa  $I_{180^\circ}$  on noin 133 cd/1 000 lm. Valovoiman maksimi kulmassa  $I_{35^\circ}$  on noin 293 cd/1 000 lm.

Valovoima suoraan alaspäin lasketaan seuraavasti:

$$I = \frac{\phi}{1000 \text{ lm}} \cdot I_{0^\circ} = \frac{5200 \text{ lm}}{1000 \text{ lm}} \cdot 140 \text{ cd} = 728 \text{ cd}$$

Valovoima suoraan ylöspäin on:

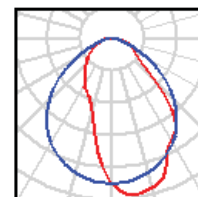
$$I = \frac{\phi}{1000 \text{ lm}} \cdot I_{180^\circ} = \frac{5200 \text{ lm}}{1000 \text{ lm}} \cdot 133 \text{ cd} = 691,6 \text{ cd}$$

Valovoimamaksimi (heijastimen vaikutuksesta) on kulmassa 35°:

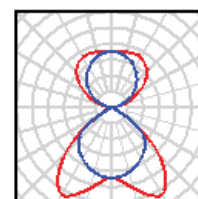
$$I = \frac{\phi}{1000 \text{ lm}} \cdot I_{35^\circ} = \frac{5200 \text{ lm}}{1000 \text{ lm}} \cdot 293 \text{ cd} = 1523,6 \text{ cd}$$

Valovirran (lamput)  $\phi$  arvo (5 200 lm) saadaan Dialux-valaisinluettelon tiedoista (kuva 30)

2 Kappale Fagerhult 19820 Lento 2xT5 28W  
 Tavarnumero: 19820  
 Valovirta (Valaisin): 4379 lm  
 Valovirta (Lamput): 5200 lm  
 Valaisimien teho: 62.0 W  
 Valaisinten luokittelu CIE: 100  
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 59  
 86 97 100 84  
 Varustus: 2 x T5 (Korjaustekijä 1.050).

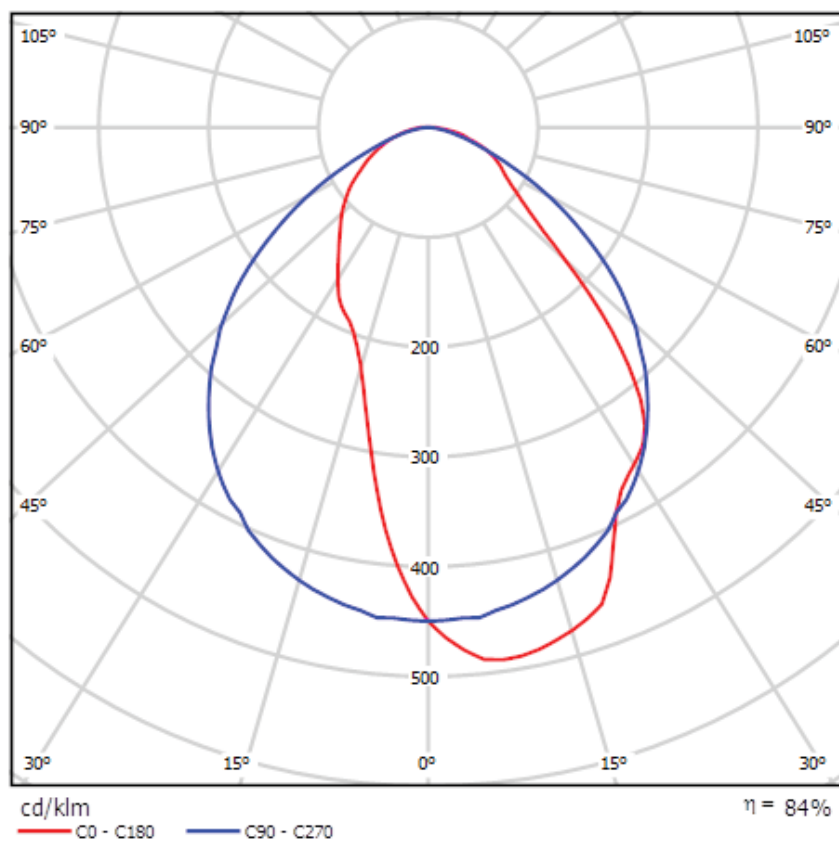


9 Kappale FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W  
 Tavarnumero: 28822  
 Valovirta (Valaisin): 4923 lm  
 Valovirta (Lamput): 5200 lm  
 Valaisimien teho: 60.0 W  
 Valaisinten luokittelu CIE: 52  
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 63  
 97 100 52 95  
 Varustus: 2 x T16 (Korjaustekijä 1.000).



Kuva 30. Dialux-valaisinluettelo.

Luokkahuoneen taulun valaisintyypiksi valittiin Fagerhult Lento (2 x 28 W) tandem-valaisin, koska valaisimen prismahäikäisy suoja vähentää heijastuksia taulun pinnalla ja suoran häikäisyn riskiä sekä opettajan että oppilaiden suuntaan. Lento-valaisin valaisee taulun reuna-alueen siten, että valaistusvoimakkuuden muutos ei ole huomattavan jyrkkä. Tandem-valaisimessa (pituus 2 448 mm) on kaksi loistelamppua peräkkäin, joten yksi valaisin valaisee taulun pinnalta leveän alueen.



Kuva 31. 19860 Fagerhult Lento (2 x 28 W) tandem-valaisimen valonjakokäyrä. Valonjakokäyrästä nähdään, että valaisin säteilee valoa ainoastaan alaspäin. Valaisimen valaistushyötysuhde ( $\eta$ ) on 84 %. Suhteellinen valovoiman suuruus suoraan alaspäin kulmassa  $I_0^\circ$  on 0 cd/1000 lm. Valovoiman maksimi kulmassa  $I_{10^\circ}$  on noin 489 cd/1000 lm.

## 7.2.2 Dialux-valaistuslaskelma

Tilaan tarvittavien valaisimien lukumäärä ja valaistuksen laatu arvioitiin Dialux-valaistuslaskelman avulla (taulukot 7–8, s.70–71; kuvat 32–34, s. 70–72). Dialux-valaistuslaskelma on kokonaisuudessa liitteessä 1.

Taulukko 7. Dialux-valaistuskalkelmin yhteenveto; käyttötason keskimääräinen valaistusvoimakkuus on 680 lx ja tasaisuus 0,656.

Tilan korkeus: 3.500 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 1.00 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:85

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	680	446	1158	0.656
Lattia	20	576	283	858	0.491
Katto	70	434	108	773	0.249
Seinät (4)	50	293	117	995	/

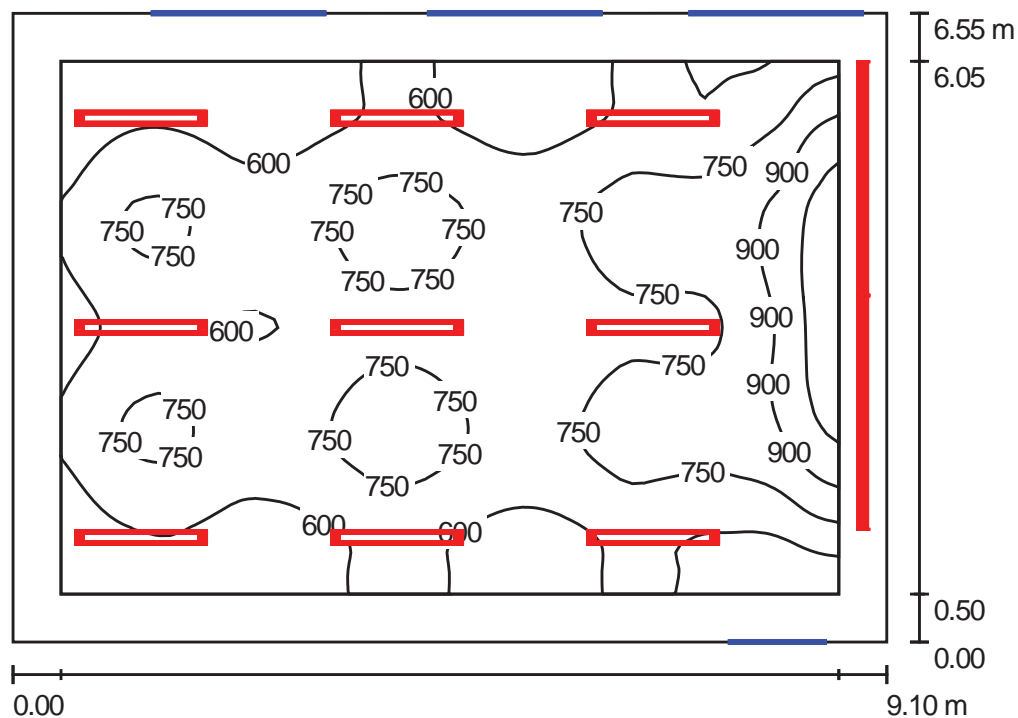
#### Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.500 m

#### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	2	Fagerhult 19820 Lento 2xT5 28W (1.050)	4379	5200	62.0
2	9	FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W (1.000)	4923	5200	60.0
Yhteensä:			53066	Yhteensä: 57200	664.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $11.14 \text{ W/m}^2 = 1.64 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $59.61 \text{ m}^2$ )



Kuva 32. Isolux-käyrillä esitetty valonmäärän jakauma luokkahuoneen työtasolle. Valaistuskalkelmin reuna-alueeksi on valittu 0,5 m.

Taulukko 8. Dialux-valaistuslaskelman valaistustekniset tulokset (Liite 1)

Kokonaisvalovirta: 53066 lm  
 Kokonaisteho: 664.0 W  
 Huoltokerroin: 1.00  
 Reuna-alue: 0.500 m

Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m <sup>2</sup> ]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	448	244	691	/	/
Lattia	367	220	586	20	37
Katto	311	129	440	70	98
Oviseinä	110	179	289	50	46
Tauluseinä	159	162	321	50	51
Ikkunaseinä	129	180	309	50	49
Takaseinä	91	185	275	50	44

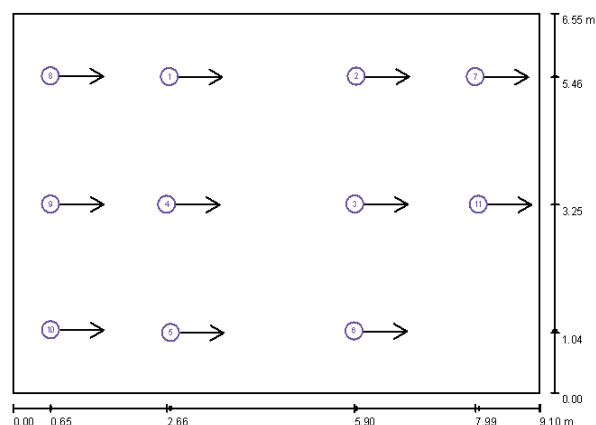
Yhdenmukaisuus käyttötasolla

$E_{\min} / E_{\max}$ : 0.667 (1:1)

$E_{\min} / E_{\max}$ : 0.395 (1:3)

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 11.14 W/m<sup>2</sup> = 1.61 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Pohjapinta-ala: 59.61 m<sup>2</sup>)

Taulukosta 8 nähdään, että keskimääräinen valaistusvoimakkuus katossa on 440 lx. Kaikkien seinien keskimääräisten valaistusvoimakkuuksien keskiarvo on 298,5 lx. Lattian heijastussuhde on 20 %, katon heijastussuhde on 70 % ja seinien heijastussuhteet ovat 50 %.

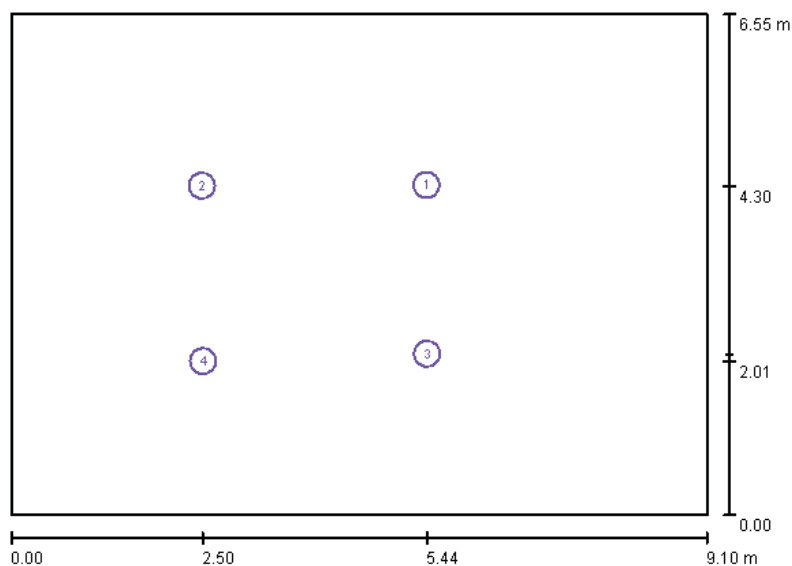


Mittakaava 1 : 66

## UGR-laskelmapisteluettelo

Numero	Tunnus	Sijainti [m]			Näkökulma [°]	Arvo
		X	Y	Z		
1	UGR-laskelmapiste 11	2.704	5.456	1.200	0.0	19
2	UGR-laskelmapiste 12	5.936	5.463	1.200	0.0	17
3	UGR-laskelmapiste 13	5.910	3.257	1.200	0.0	19
4	UGR-laskelmapiste 14	2.656	3.250	1.200	0.0	19
5	UGR-laskelmapiste 15	2.724	1.038	1.200	0.0	19
6	UGR-laskelmapiste 16	5.897	1.065	1.200	0.0	18
7	UGR-laskelmapiste 17	7.991	5.456	1.200	0.0	19
8	UGR-laskelmapiste 18	0.647	5.469	1.200	0.0	12
9	UGR-laskelmapiste 19	0.651	3.257	1.200	0.0	12
10	UGR-laskelmapiste 20	0.651	1.085	1.200	0.0	11
11	UGR-laskelmapiste 25	8.045	3.250	1.200	0.0	17

Kuva 33. UGR-laskelmapisteluettelo; UGR-häikäisyindeksi luokkahuoneen tarkastelupisteissä 1-11 täyttävät standardin SFS-EN 12464-1 suosituksen (19).



Mittakaava 1 : 75

**Laskelmapisteluettelo**

Numero	Tunnus	Tyyppi	Sijainti [m]			Pyörahdyys [°]			Arvo [lx]
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Pystysuora laskelmapiste 2	pystysuora, syl.	5.439	4.309	1.700	0.0	0.0	0.0	211
2	Pystysuora laskelmapiste 2	pystysuora, syl.	2.500	4.300	1.700	0.0	0.0	0.0	201
3	Pystysuora laskelmapiste 2	pystysuora, syl.	5.446	2.103	1.700	0.0	0.0	0.0	214
4	Pystysuora laskelmapiste 2	pystysuora, syl.	2.514	2.008	1.700	0.0	0.0	0.0	207

**Yhteenveto tuloksista**

Laskelmapistetyypit	Lukumäärä	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
Pystysuora, syl.	4	208	201	214	0.97	0.94

Kuva 34. Sylinterivalaistusvoimakkuuksien laskentapisteet; Sylinterivalaistusvoimakkuus mittauspisteissä 1–4 (korkeus 1,7 m) on keskimäärin 208 lx.

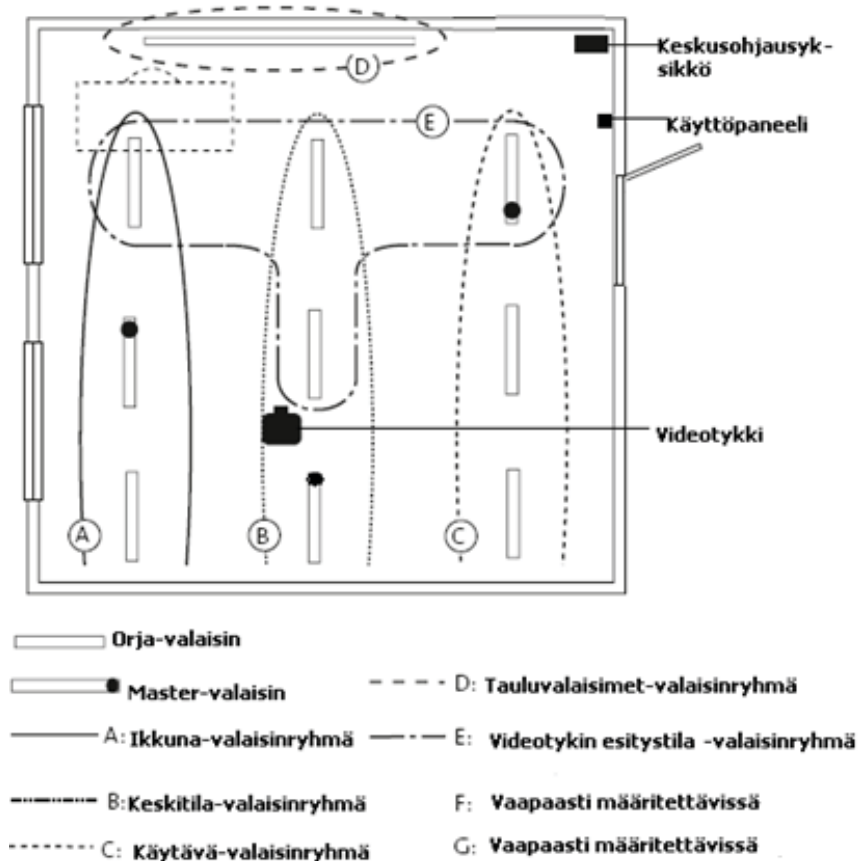
Dialux-valaistuskalkulaation yhteenvedon (taulukko 7) perusteella todettiin, että luokahuoneeseen tarvitaan yhdeksän kappaletta DTI Type 2 Beta -yleisvalaisinta (asennuskorkeus 2,5 m) ja kaksi kappaletta Lento-valaisimia (asennuskorkeus 2,5 m), jotta tilan valaistus on standardin SFS-EN 12464-1 asettamien vaatimusten mukainen.

Käyttötasolla, sylinterivalaistuksen (kuva 34) mittauspisteissä ja katto- ja seinäpinnoilla saavutettiin SFS-EN 12464-1 -standardin ylittävät valaistustasot. Valaistusvoimakkuudet tilan pinnoilla täyttävät myös korkeammat Fagerhult-suositukset. Seinien keskimääräinen valaistusvoimakkuus luokahuoneessa on 298,5 lx. Katon keskimääräinen valaistusvoimakkuus on 400 lx. Seinien ja katon valaistusvoimakkuudet ylittävät SFS-EN 12464-1-standardin suositukset ja täyttävät Fagerhult-suosituksen (~300 lx).



### 7.2.3 Master-valaisimien määrittäminen

Tarvittavien valaisimien kokonaismäärän määrittämisen jälkeen luokahuoneeseen määritettiin valaisinryhmiä ohjaavien *master*-valaisimien lukumäärä. Tilan koosta riippuen, yksi tai useampi läsnä- ja päivänvalotunnistimilla varustettua *master*-valaisinta on sijoitettava yhteen ohjattavaan valaisinryhmään. Riittävä määrä *master*-valaisimia mahdollistaa kattavan läsnäolo-ohjauksen ja tasaisesti säätyvän päivänvalo-ohjauksen.



Kuva 35. Wireless e-Sense Connect -järjestelmä Aleksis Kiven koulun luokahuoneessa 402

Aleksis Kiven koulun luokahuoneeseen valittiin kolme DTI Type 2 Beta *master*-valaisinta ja valaisinryhmät muodostettiin kuvan 35 mukaisesti. Käyttöpaneeli sijoitettiin sisäänkäyntioven viereen seinälle ja keskusyksikkö piiloon alakaton yläpuolelle.

### 7.2.4 Elinkaarikustannuslaskelma

Langatonta e-Sense Connect -järjestelmää ja Aleksis Kiven koulun luokahuoneen 402 alkuperäistä valaistusta verrattiin keskenään elinkaarikustannuslaskelmien avulla.

Luokkahuoneen 402 valaistusvaihtoehtoja verrattiin keskenään LCC (Fagerhult Life Cycle Cost) -laskurilla. LCC-laskuri laskee valaistuksen elinkaarikustannukset nykyarvomenetelmällä, joka mahdollistaa kustannusten kehittymisen tarkastelun elinkaaren aikana. Elinkaarikustannuslaskelmiin valittiin valaistuksen pito-ajaksi 20 vuotta.

Fagerhult konsernin kehittämä elinkaarikustannusten laskentaohjelma huomioi investoinnin kokonaiskustannukset, järjestelmän energiakustannukset sekä sen käyttö- ja huoltokustannukset. Ohjelma laskee järjestelmän kokonaiskustannukset koko pitoajalle huomioiden investointiin tarvittavan lainan korot ja inflaation vaikutukset. Ohjelma laskee lisäksi valaistuksen takaisinmaksuajan, hiilidioksidipäästöt, LENI-luvun ja tuotot. LCC-laskelman tulokset perustuvat LCC-ohjelmistoon syötettyihin arvoihin (kuva 36 ja taulukko 9, ks. seur. s. ).

Projekti	Yhteystiedot	Huomiot	Yksiköt
Projektin nimi	Aleksis Kivi School, Classroom 402		
Päivämäärä	4.03.2013		
Laskentakorko (vertailuarvo)	3,0	%	
Inflaatio (vertailuarvo)	2,8	%	
Pitoaika	20,0	vuotta	
Sähkön hinta	0,1478	EUR/kWh	
<input checked="" type="checkbox"/> Energian hinnan kasvu (inflaation vaikutus energian hintaan)	4,0	%	
CO <sub>2</sub> kerroin	0,415	kg CO <sub>2</sub> /kWh	
<input type="checkbox"/> Jäähdytysenergia			
Jäähdytyksen käyttökerroin	50,0	%	
Jäähdytystehokkuus	2,5	W <sub>H</sub> /W <sub>C</sub>	
missä H on lämpöenergia ja C jäähdytysenergia			
<input checked="" type="checkbox"/> LENI Wattia/pinta-ala			
Huonepinta-ala	60,0	m <sup>2</sup>	

Kuva 36. Projektiin syötetyt lähtöarvot

Taulukko 9. LCC-ohjelmistoon syötetyt lähtöarvot. Hinnat alv. 0 %

Lähtöarvon nimi	Arvo	Lähde
laskentakorko (vertailuarvo)	3 %	LCC-ohjelmiston oletusarvo
inflaatio (vertailuarvo)	2,80 %	Tilastokeskus. Vuoden 2012 inflaatio
sähkön hinta Alv 0%	0,1641 €/kWh	Tilastokeskus Tammikuu 2013 ja Helsingin energian sähkön siirtohinnoista 2013.
energian hinnan kasvu (inflaation vaikutus lisähintaan)	3 %	EMV (2011)
co <sub>2</sub> -kerroin	0,415 kgCO <sub>2</sub> /kWh	arvio
asennus- ja materiaalikustannukset/valaisin	20 €	arvio
polttotuntimäärä	19000 h	LCC-ohjelmiston tietokanta
yksikköhinta/valonlähde	5,67 €	Fagerhult suositushinnasto 2013
vaihtotyön kustannus/valonlähde	3 €	Arvio
tyhjäkäyntiteho (valaisimet liitäntälaitteella)	0,01W	e-Sense Connect -käyttöohjekirja
kytkentäaika verkkoon/vuosi	6960 h	arvio
liitäntälaitteen elinikä Max. 10% alenemalla	75000 h	LCC-ohjelmiston tietokanta
hinta/liitäntälaitte	42,64 €	Fagerhult suositushinnasto 2013
liitäntälaitteen/valaisimen sähköisten komponenttien vaihtokustannus	25 €	arvio
valaisimen sähköisten komponenttien (kompensointikondensaattori, sytytin, kuristin) yhteishinta	50 €	arvo
vuotuinen polttoaika	2000 h	LCC-ohjelmiston tietokanta
huoltokustannus (puhdistus) /valaisin	5 €	arvio
huoltoväli (puhdistus)	12000 h	arvio
ohjauskerroin (Lento-tauluvalaisin)	80 %	LCC-ohjelmiston tietokanta
ohjauskerroin (DTI-ripustusvalaisin)	55 %	LCC-ohjelmiston tietokanta

Taulukossa 9 on esitetty elinkaarikustannuslaskelmassa käytetyt lähtöarvot lähteineen. Osa lähtöarvoista perustuvat LCC-ohjelmiston oletusarvoihin tai muihin yleisesti käytettyihin arvioituihin arvoihin.

Valaistuksien investointeihin sisällytettiin valaisimien, ohjausjärjestelmän komponenttien, loistelamppujen ja tarvittavien lisävarusteiden hinnat, kaapelointikustannukset ja asennuskustannukset. Alkuperäisen valaistuksen investointeihin sisältyi ainoastaan loistelamppujen hinnat. Valaisimien, loisteputkien ja liitäntälaitteiden hinnat perustuvat vuoden 2013 Fagerhult Oy:n suositushinnastoon. Valonlähteiden hinnat sisältävät ongelmajättemaksun.

Ajanjaksolla 1.1.2000–1.1.2010 energian hinta on kasvanut keskimäärin 4 % vuodessa (EMV 2011) ja samanlaisen kasvun oletettiin jatkuvan koko tarkastelujakson. Sähkön hinnaksi asetettiin 0,1641 €/kWh alv. 0 %. Sähkön hinta sisältää sähkön siirron ja sähköveron (1,703 c/kWh). Energian hinta perustuu Tilastokeskuksen arvioimaan kotitaloussähkön kuluttajahintaan Tammikuussa 2013 (154,7 €/MWh alv. 24 %). Sähkön siirtohintaa (2,95 c/kWh) perustuu Helsingin energian vuoden 2013 sähkön siirtohinnoitukseen.

Valaisimien puhdistus- ja huoltovälin oletettiin olevan 12 000 tuntia. Puhdistus- ja huoltokustannukseksi valaisinta kohden arvioitiin olevan 5 €. Hinnan oletettiin perustuvan 10 minuutin työ-menekkiin ja 30 €/h veloitukseen. Lampunvaihtotyön oletettiin kustantavan 3 €/lamppu perustuen 6 minuutin työmenekkiin ja 30 €/h veloitukseen.

Uuden valaistuksen liitäntälaitteiden ja alkuperäisen valaistuksen sähköisten komponenttien vaihtotyön hinnaksi arvioitiin 25 €/valaisin perustuen 30 min työmenekkiin 50 €/h veloituksella. Alkuperäisen valaistuksen sähköisten komponenttien (kuristimet, sytyttimet ja kompensointikondensaattorit) hinnaksi arvioitiin 50 €/valaisin ja huoltoväliksi 50 000 h.

Taulukko 10. LCC-Elinkaarikustannuslaskelman tulokset.

**Valaistusratkaisujen kustannusvertailu**

<b>Yleiset tiedot</b>	<b>Alkuperäinen valaistus</b>	<b>Wireless e-Sense Connect</b>
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinmaksu...)	Nykyinen valaistusratk...	
Valaisintyyppien lukumäärä	1	3
Valaisintyytit	15 - 2x58W	2 - 2x28W Lento 3 - 2x28W DTI type 2 B... 6 - 2x28W DTI type 2 B...
Valaisimien lukumäärä	15	11
Valonlähtöjen kokonaismäärä	30	22
<b>Investointikustannukset</b>		
Valaisinkustannukset yhteensä (ilman lamppuja)	0 EUR	2 620,56 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	170,1 EUR	124,74 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	1 013,13 EUR
Materiaali- ja työskustannukset yhteensä	0 EUR	220 EUR
<b>Investointi</b>	<b>170 EUR</b>	<b>3 978 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>		
Valaistusratkaisun kokonaisteho	2,1 kW	660 W
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	59,5 %
Teho yhteensä	2,1 kW	393,0 W
Keskimääräinen toiminta-aika	2 000 h/vuotta	2 000 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntitehoa)	4,26 MWh/vuotta	786 kWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	0,0 W	0,11 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntiteho	- h/vuotta	4 960 h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	0 Wh/vuotta	545,6 Wh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	4,3 MWh	786,5 kWh
Sähkön hinta	0,1641 EUR/kWh	
Energiakustannukset vuodessa	699 EUR	129 EUR
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	<b>15 349 EUR</b>	<b>2 834 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannukset</b>		
Valonlähtöjen kokonaismäärä	30	22
Valonlähtöjen vaihtokustannukset yhteensä	260,1 EUR	190,74 EUR
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	<b>762 EUR</b>	<b>371 EUR</b>
<b>Liitäntälaitteen kustannukset</b>		
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus	1 125 EUR	744,04 EUR
<b>Liitäntälaitteiden kustannusten nykyarvo</b>	<b>78 EUR</b>	<b>38 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>		
Huoltokustannukset yhteensä	75 EUR	55 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>220 EUR</b>	<b>107 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun nykyarvo</b>	<b>16 579 EUR</b>	<b>7 329 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)</b>		
Tuotto	0 EUR	9 251 EUR
<b>LENI</b>	<b>~71,0 kWh/m<sup>2</sup>, vuotta</b>	<b>~13,1 kWh/m<sup>2</sup>, vuotta</b>

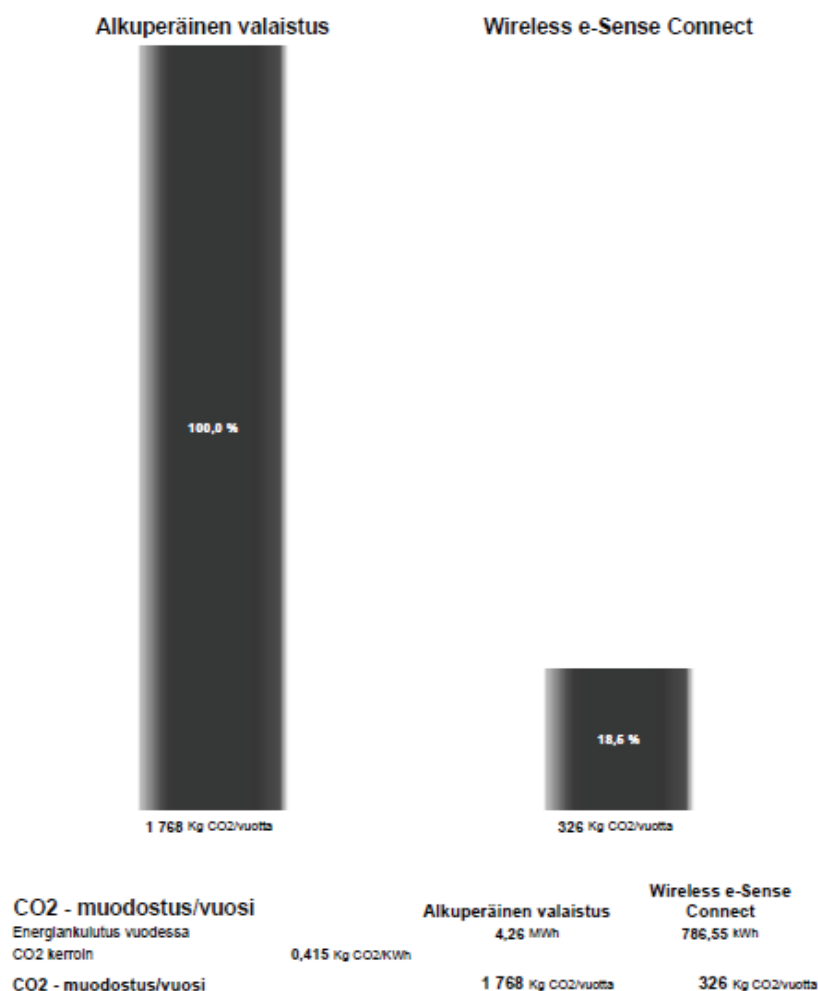
Edellä esitetystä kustannusvertailusta (taulukko 10) nähdään, että Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän takaisinmaksuaika on 6 vuotta, LENI-luku on 13,1 ja kokonaiskustannukset 20 vuoden tarkastelujakson aikana on 7 329 €. Alkuperäisen valaistuksen kokonaiskustannukset tarkastelujakson aikana on 16 579 € ja LENI-luku on 71.

Päivittämällä luokahuoneen valaistus Wireless e-Sense Connect -järjestelmäksi voidaan säästää kahdenkymmenen vuoden pitoaikana 9 250 €. Säästöt muodostuvat suu-

rimmaksi osaksi energiakustannuksista, koska Wireless e-Sense Connect -järjestelmä kuluttaa elinkaarikustannuslaskelman mukaan 81,8 % vähemmän energiaa kuin alkuperäinen valaistus. Kustannusvertailusta voidaan todeta, että valaistuksen uusiminen luokahuoneeseen on kannattavaa, vaikka se kasvattaa investointikustannuksia. Valonohjausjärjestelmän korkeammat investointikustannukset kompensoituvat sen tuomilla energiansäästöillä.

Elinkaarikustannuslaskelmasta (kokonaisuudessa liitteessä 2) nähdään, että, koska e-Sense Connect -valaistus kuluttaa 81,8 % vähemmän energiaa kuin alkuperäinen valaistus niin se vähentää myös hiilidioksidipäästöjä 81,8 % (kuva 37). Hiilidioksidipäästöjä tuottavat energialaitokset kuten hiilitehtaat.

### CO<sub>2</sub>-muodostus



Kuva 37. Alkuperäisen valaistuksen hiilidioksidipäästöt verrattuna e-Sense Connect -järjestelmällä toteutetun valaistuksen päästöihin

## 8 Yhteenveto

Valonohjausjärjestelmillä on avainmarkkinatekijöitä, jotka lisäävät niiden myyntiä tulevaisuudessa. Avainmarkkinatekijät muodostuvat lähinnä energiaa ja ympäristöä säästävistä ominaisuuksista. Maailmanlaajuisesti kiristyvät energiadirektiivit ja sähköenergian kallistuminen kannustavat säästämään energiaa. Valonohjausjärjestelmällä saavutetut energiansäästöt mahdollistavat rakennukselle korkeamman ympäristöluokituksen ja vihreän rakennuksen status parantaa rakennuksen imagoa sekä tuottoja.

Uudet kehittyneet langattomat tiedonsiirtomenetelmät mahdollistavat luotettavan ja häiriövapaan valonohjauksen. Langattomalla valonohjausteknologialla toimivien valonohjausjärjestelmien merkittävin etu on, että ne ovat lähes vapaita ohjauskaapeleista. Langattomien valonohjausjärjestelmien asennus on yksinkertaista, joten niiden asennuskustannukset ovat pienemmät kuin langallisten valonohjausjärjestelmien asennuskustannukset, ja niitä voidaan myös käyttää tiloissa, joissa ohjauskaapeleiden kaapelointityöt ovat hankalia tai mahdottomia.

Työssä todettiin, että Wireless e-Sense Connect -valonohjausjärjestelmän hankintahinta voidaan kompensoida sen pitkällä aikavälillä tuomilla säästöillä, ja että järjestelmän langaton valonohjausteknologia ei heikennä sen luotettavuutta tai käyttäjäystävällisyyttä. Erityisesti saneerauskohteissa vanhan valaistuksen korvaaminen langattomalla valonohjausteknologialla toimivalla järjestelmällä on yksinkertaista ja kannattavaa.

Perinteisten langallisten valonohjausjärjestelmien myyntiä on rajoittanut niiden korkea hinta ja monimutkaisuus. Ohjauskaapeleiden poistaminen mahdollistaa valonohjauksen pienemmillä kustannuksilla ja monipuolisemmilla eduilla yhä laajemmalle kuluttajaryhmälle. Langattomat valonohjausteknologiat tuovat älykkyyden uuden sukupolven valonohjausjärjestelmiin mahdollistaen yksinkertaiset askeleet kohti kustannussäästöjä ja vihreämpää tulevaisuutta.

## Lähteet

- 1 Juslén Henri. 2009. Julkisten tilojen vihreät valaistusratkaisut. Verkkodokumentti. Philips Oy. <[http://www.greenetfinland.fi/fi/images/6/6d/Esitys\\_Juslen.pdf](http://www.greenetfinland.fi/fi/images/6/6d/Esitys_Juslen.pdf)>. 2009. Luettu 14.2.2013.
- 2 White Paper: Lighting retrofits, with no wires attached. 2012. Verkkodokumentti. Daintree Networks. <<http://www.daintree.net/downloads/whitepapers/retrofits.pdf>>. 2012. Luettu 14.2.2013.
- 3 Cooper Lighting and Security. 2006. Lighting Solutions, s. 480. Luettu 1.1.2013.
- 4 Foote Jesse. Bloom Eric. 1.6.2012. Pike Research report Intelligent Lighting Controls for Commercial Buildings. Verkkodokumentti. Pike research. <<http://www.pikeresearch.com/research/intelligent-lighting-controls-for-commercial-buildings>>. 1.4.2013. Luettu 20.6.2012.
- 5 Valaistuksen energia vähentää päästöjä. 2013. Verkkoartikkeli. Fagerhult Oy <<http://fagerhult.fi/indoor/hallbarhet/miljo.asp>>. 2013. Luettu 23.2.2013.
- 6 BREEAM Logo and Marks. 2012. Verkkodokumentti. Building Research Establishment. <[http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM%20Banners,%20Posters%20and%20Plaques/PN\\_235\\_Rev\\_0.0\\_BREEAM\\_Marks.pdf](http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM%20Banners,%20Posters%20and%20Plaques/PN_235_Rev_0.0_BREEAM_Marks.pdf)>. 1.9.2012. Luettu 5.4.2012.
- 7 Radioaallot. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[http://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaallot#cite\\_note-k.C3.A4sikirja-0](http://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaallot#cite_note-k.C3.A4sikirja-0)>. 2012. Luettu 28.8.2012.
- 8 Viestimies, 12. painos, s. 412. 1980. Länsi-Savo Oy, Viestiupseeriyhdistys ry. Viitattu 28.8.2012.
- 9 Radioaallot ympäristössämme, s. 2. 2009. Helsinki: Säteilyturvakeskus 1.1.2009. Viitattu 23.3.2013.
- 10 Juutilainen M. 2006. Radiotekniikan perusteet: Signaalien eteneminen. Opetusmateriaali, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://www2.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento03.pdf>>. Luettu 20.8.2012.
- 11 Mikroaaltojen diffraktio. 2003. Opetusmateriaali. Aaltoyliopiston teknillinen korkeakoulu. Verkkodokumentti. <<http://tfy.tkk.fi/kurssit/Tfy-3.15x/Teoria/tyo42.pdf>>. Luettu 21.8.2012.



- 12 Hyvärinen Johannes. 1999. Mikroaallot vs. infrapuna langattomassa tiedonsiirrossa. Tietotekniikan osasto, teknillinen korkeakoulu. Verkkodokumentti. <[http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-110.300/1999/Wireless/infrared\\_1.html](http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-110.300/1999/Wireless/infrared_1.html)>. 9.10.1999. Luettu 31.8.2012.
- 13 Dilouie Craig. 2011. Wireless Lighting Controls Offer Flexibility And Cost Savings in Commercial Buildings. Verkkodokumentti. Lighting association. <<http://lightingcontrolsassociation.org/Wireless-lighting-controls-offer-flexibility-and-cost-savings-in-commercial-buildings/>>. Luettu 20.8.2012
- 14 Nisonen Mikko, Vasko Joni. 2012. ZIGBEE. Opinnäytetyö, Tietotekniikan koulutusohjelma IIT9S1. Luettu 1.8.2012.
- 15 Z-wave Wireless control white paper. 2013. Verkkodokumentti. Musewerx. <<http://www.musewerx.com/Whitepapers/Z-Wave%20White%20Paper.pdf>>. luettu 18.3.2013.
- 16 The EnOcean Standard for sustainable buildings. 2013. Verkkodokumentti. Vaasan sähköpalvelu. [http://www.vaasansahkopalvelu.fi/tiedostot/EnOcean%20building\\_automation\\_EN.pdf](http://www.vaasansahkopalvelu.fi/tiedostot/EnOcean%20building_automation_EN.pdf). Luettu 4.4.2013.
- 17 Wireless Mesh (WMesh) on reitittävä langaton verkko. 2011. Verkkodokumentti. <[http://fi.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_mesh](http://fi.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh)>. Luettu 20.8.2012.
- 18 Wireless e-Sense Connect Manual for installation in teaching rooms. 2012. Ruotsi: Fagerhult Oy. Luettu 1.1.2013.
- 19 CRMX products for Entertainment and Architainment. 2013. Verkkodokumentti. Lumen Radio AB. <<http://www.lumenradio.com/crmxproducts.php>>. Luettu 1.1.2013.
- 20 Talotekniikka-alan Sähköasennustoimialan Työehtosopimus. 2012. Verkkodokumentti. Palvelualojen työnantajat PALTA ry, Sähköalojen ammattiliitto ry. <<http://sahkoliitto-fi-bin.directo.fi/@Bin/5d0bbce9248acc874a756979c2d21ad1/1365342006/application/pdf/527276/Talotekniikka-alan%20TES%20FINAL%2019%209%202012.pdf>>. Luettu 1.1.2013.
- 21 Wernberg Mats. Valonohjauskonsultti. Fagerhults Belysning AB. Habo. Sähköpostikeskustelu. 4.4.2013.
- 22 Englund Ani, Partonen Timo. 2012. Valon vaikutus terveyteen. Artikkel, Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim. Puolijohdemuisti, joka voidaan sähköisesti tyhjentää ja uudelleen ohjelmoida.

- 23 Govén Tommy, Laike Thorbjörn, Raynham Peter, Sansal Eren. 2008. INFLUENCE OF AMBIENT LIGHT ON THE PERFORMANCE, MOOD, ENDOCRINE SYSTEMS AND OTHER FACTORS OF SCHOOL CHILDREN. Verkkodokumentti. Fagerhults Belysning AB, University College London.  
<<http://images.fagerhult.com/indoor/solutions/education/documents/The-influence-of-ambient-light-on-school-children.pdf>>. Luettu 1.1.2013.
- 24 Govén Tommy, Laike Thorbjörn. Pendse B, Sjöberg. 2007 K. THE BACKGROUND LUMINANCE AND COLOUR TEMPERATURES INFLUENCE ON ALERTNESS AND MENTAL HEALTH. Verkkodokumentti. Fagerhults Belysning AB, Lund University.  
<<http://images.fagerhult.com/indoor/solutions/education/documents/The-backgronund-luminance-and-colour-temperatures-influence-on-alertness-and-mental-health.pdf>>. Luettu 1.1.2013

## Dialux-valaistuslaskelma

Aleksis Kiven koulu

Luokka 402

Yhteyshenkilö:  
Tilausnumero:  
Toiminimi:  
Asiakasnumero:

Päivämäärä: 05.04.2013  
Tekijä: Ville Rautavirta

## Sisällysluettelo

Aleksis Kiven koulu	
Projektin etusivu	1
Sisällysluettelo	2
FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W	
Valaisintietoarkki	3
UGR-Taulukot	4
Fagerhult 19820 Lento 2xT5 28W	
Valaisintietoarkki	5
Luokkahuone 2 x 28 W DTI	
Yhteenveto	6
Luettelo valaisimista	7
Valaisimet (pohjakuva)	7
Valaistustekniset tulokset	8
UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkymä)	9
Ray-Trace-näkymät	
Ray-Trace-esikatselu 1	
Ray-Trace-kuvanmuodostus	10
Ray-Trace-esikatselu 2	
Ray-Trace-kuvanmuodostus	10
Ray-Trace-esikatselu 3	
Ray-Trace-kuvanmuodostus	11
Ray-Trace-esikatselu 4	
Ray-Trace-kuvanmuodostus	11
Tilan pinnat	
Käyttötaso	
Isolux-käyrät (E)	12
Arvokaavio (E)	13
Tauluseinä	
Isolux-käyrät (E)	14
Arvokaavio (E)	15



**FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W / UGR-Taulukot**

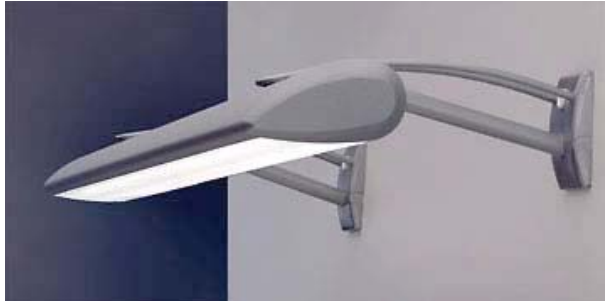
Valaisin: FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W

Lamput: 2 x T16

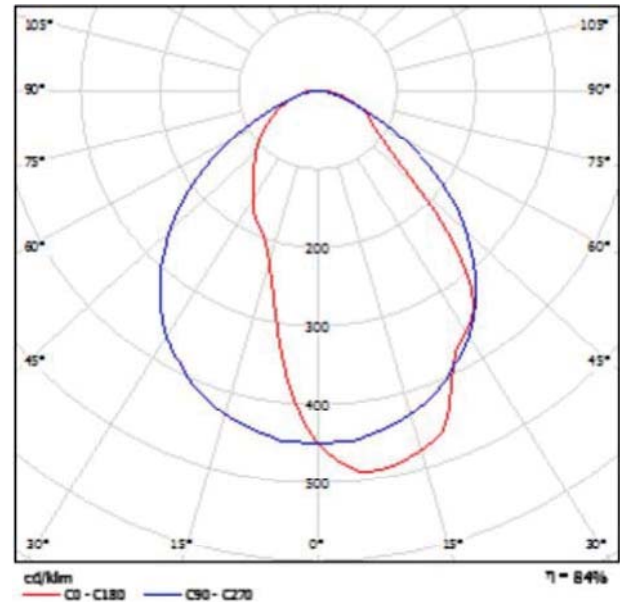
Häikäisyarvot UGR:N mukaan											
ρ Katto		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Seinät		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Lattia		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tilan koko X            Y		Näkökulma poikittain Lampun keskiviivaan					Näkökulma pitkittäin Lampun keskiviivaan				
2H	2H	16.5	17.2	17.3	18.1	19.1	15.7	16.4	16.5	17.3	18.3
	3H	16.3	16.9	17.1	17.8	18.9	15.4	16.1	16.3	17.0	18.1
	4H	16.1	16.7	17.0	17.6	18.7	15.3	15.9	16.2	16.8	17.9
	6H	16.0	16.5	16.9	17.4	18.6	15.2	15.7	16.1	16.6	17.8
	8H	15.9	16.4	16.9	17.4	18.5	15.1	15.6	16.0	16.5	17.7
	12H	15.9	16.4	16.8	17.3	18.5	15.0	15.5	16.0	16.4	17.6
4H	2H	16.3	16.9	17.2	17.8	18.9	15.5	16.1	16.4	17.0	18.1
	3H	16.1	16.5	17.0	17.5	18.7	15.3	15.8	16.2	16.7	17.9
	4H	15.9	16.4	16.9	17.3	18.5	15.2	15.6	16.1	16.5	17.7
	6H	15.8	16.2	16.8	17.1	18.4	15.0	15.4	16.0	16.3	17.6
	8H	15.7	16.1	16.7	17.0	18.3	15.0	15.3	15.9	16.3	17.5
	12H	15.7	16.0	16.7	16.9	18.2	14.9	15.2	15.9	16.2	17.4
8H	4H	15.7	16.0	16.7	17.0	18.3	14.9	15.3	15.9	16.2	17.5
	6H	15.6	15.8	16.6	16.8	18.1	14.8	15.1	15.8	16.1	17.4
	8H	15.5	15.7	16.5	16.8	18.1	14.7	15.0	15.8	16.0	17.3
	12H	15.4	15.6	16.5	16.7	18.0	14.7	14.9	15.7	15.9	17.2
12H	4H	15.6	15.9	16.6	16.9	18.2	14.9	15.2	15.9	16.1	17.4
	6H	15.5	15.7	16.5	16.7	18.0	14.7	15.0	15.7	16.0	17.3
	8H	15.4	15.6	16.5	16.7	18.0	14.7	14.9	15.7	15.9	17.2
Vaihtelee katsojan paikkaa valaisimien etäisyyksien tarkastelemiseksi S											
S = 1.0H		+1.1 / -2.1					+1.0 / -1.1				
S = 1.5H		+2.3 / -7.9					+2.4 / -8.8				
S = 2.0H		+4.1 / -10.1					+3.6 / -10.8				
Vakiotaulukko		BK00					BK00				
Korjaustekijä		-1.1					-1.9				
Korjatut häikäisyarvot suhteessa 5200lm Kokonaisvalovirta											

UGR-arvot lasketaan CIE:n julkaisu 117:n mukaan. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25.

## Fagerhult 19820 Lento 2xT5 28W / Valaisintietoarkki



Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100  
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 59 86  
97 100 84

Puuttuvien symmetriaominaisuuksien takia ei tälle valaisimelle voida näyttää UGR-taulukkoa.

### Asennus

Seinäkiinnikkeellä seinäpintaan tai ripustus vaijerilla. Vaijeriripustimessa kitkalukko, joka mahdollistaa ripustuskorkeuden säädön ilman työkaluja. Portaattomasti aseteltava kiinnitysväli seinäkiinnikkeille ja vaijeriripustimelle.

### Kytkenä

Jousiliitinkytkentärämsä 3x2,5 mm<sup>2</sup> -o- kummassakin päädyssä. Lämpöjohto 3x1,5 mm<sup>2</sup>. Päätykansi peittää päädyssä olevan kytkentätilan.

### Rakenne

Runko alumiiniprofiilia ja päädyt alumiinivalua. Väri valkoinen (NCS 0500/RAL 9016) tai raepintainen alumiininharmaa (RAL 9006). Päätykanne sisältävät yksittäisvalaisimien toimitukseen.

### Häikäisysoja

Akryylistä valmistettu prismalevy, joka ohjaa valon kohti seinää.

### Heijastin

Heijastin kiiltäväpintaista MIRO® -alumiinia.

### Lisävarusteet

Seinäkannattimet ja vaijeriripustimet. Jonoasennusvalaisimiin tilataan päätykannet erikseen.

### Lisätietoja

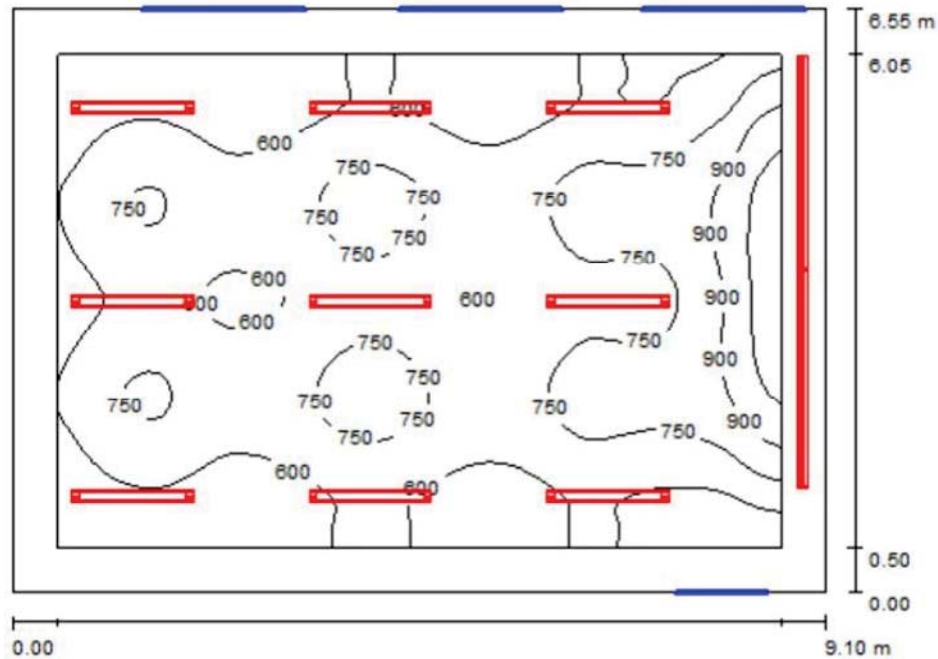
Seinäasennuksessa on käytettävä taipuisaa MSK-johtoa, jonka läpimitta on enintään 8 mm. Tilauksesta on saatavissa myös muita lampputehoja, kuten esim. 49W.

### Design

T Design.



## Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.500 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 1.00

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:85

Pinta	U [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	679	452	1158	0.666
Lattia	20	576	312	852	0.542
Katto	70	434	129	772	0.297
Seinät (4)	50	292	126	978	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.500 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	› (Valaisin) [lm]	› (Lamput) [lm]	P [W]
1	2	Fagerhult 19820 Lento 2xT5 28W (1.050)	4379	5200	62.0
2	9	FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W (1.000)	4923	5200	60.0

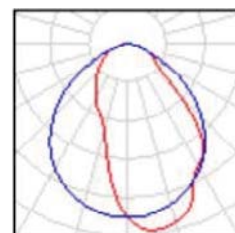
Yhteensä: 53066 Yhteensä: 57200 664.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 11.14 W/m<sup>2</sup> = 1.64 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Pohjapinta-ala: 59.61 m

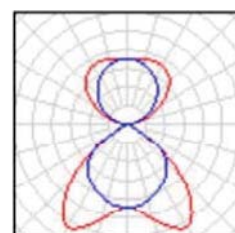
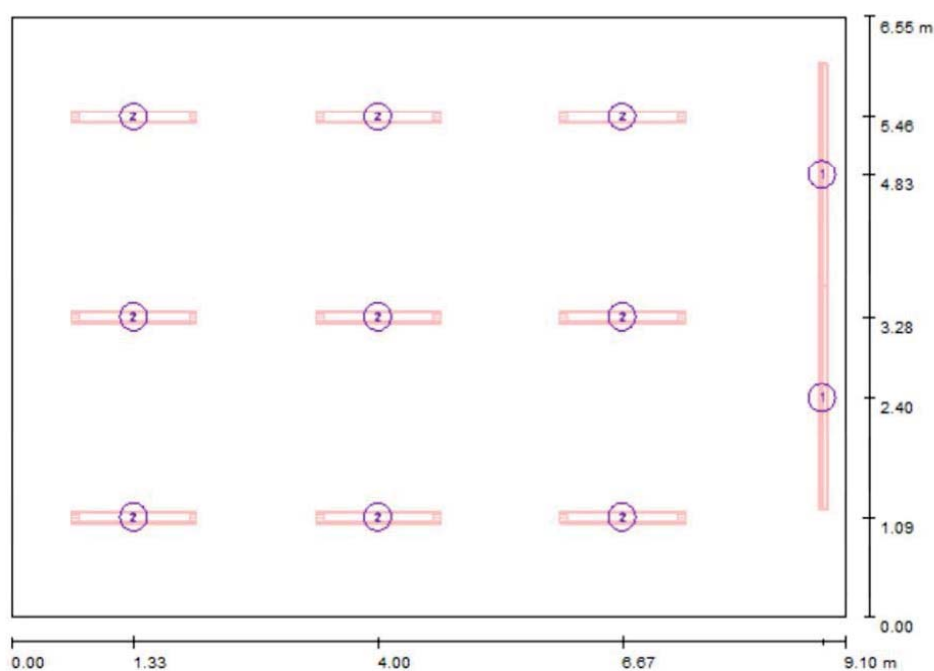


**Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Luettelo valaisimista**

2 Kappale Fagerhult 19820 Lento 2xT5 28W  
 Tavarnumero: 19820  
 Valovirta (Valaisin): 4379 lm  
 Valovirta (Lamput): 5200 lm  
 Valaisimien teho: 62.0 W Va-  
 laisinten luokittelu CIE: 100  
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 59  
 86 97 100 84  
 Varustus: 2 x T5 (Korjaustekijä 1.050).



9 Kappale FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W  
 Tavarnumero: 28822  
 Valovirta (Valaisin): 4923 lm  
 Valovirta (Lamput): 5200 lm  
 Valaisimien teho: 60.0 W Va-  
 laisinten luokittelu CIE: 52  
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 63  
 97 100 52 95  
 Varustus: 2 x T16 (Korjaustekijä 1.000).

**Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Valaisimet (pohjakuva)**

Mittakaava 1 : 66

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus
1	2	Fagerhult 19820 Lento 2xT5 28W
2	9	FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W

**Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Valaistustekniset tulokset**

Kokonaisvalovirta: 53066 lm  
 Kokonaisteho: 664.0 W  
 Huoltokerroin: 1.00  
 Reuna-alue: 0.500 m

Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m²]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	448	231	679	/	/
Lattia	367	209	576	20	37
Katto	311	122	434	70	97
Oviseinä	110	173	282	50	45
Tauluseinä	159	156	316	50	50
Ikkunaseinä	129	172	301	50	48
Takaseinä	91	178	269	50	43

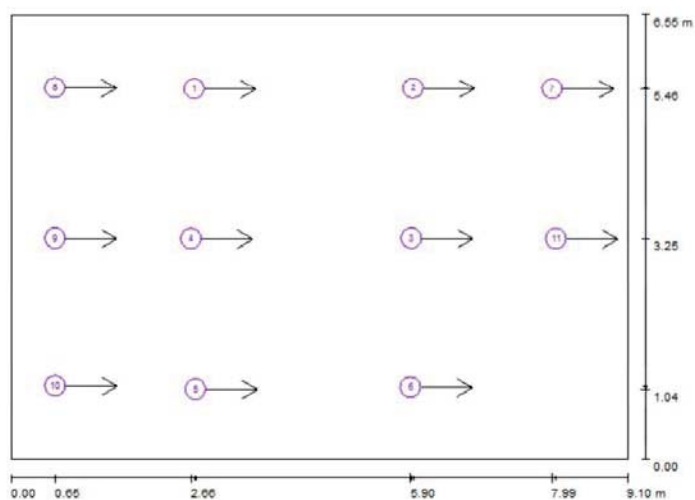
Yhdenmukaisuus käyttötasolla

$E_{\min} / E_{\max}$ : 0.666 (1:2)

$E_{\min} / E_{\max}$ : 0.391 (1:3)

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 11.14 W/m² = 1.64 W/m²/100 lx (Pohjapinta-ala: 59.61 m²)

### Luokkahuone 2 x 28 W DTI / UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkymä)

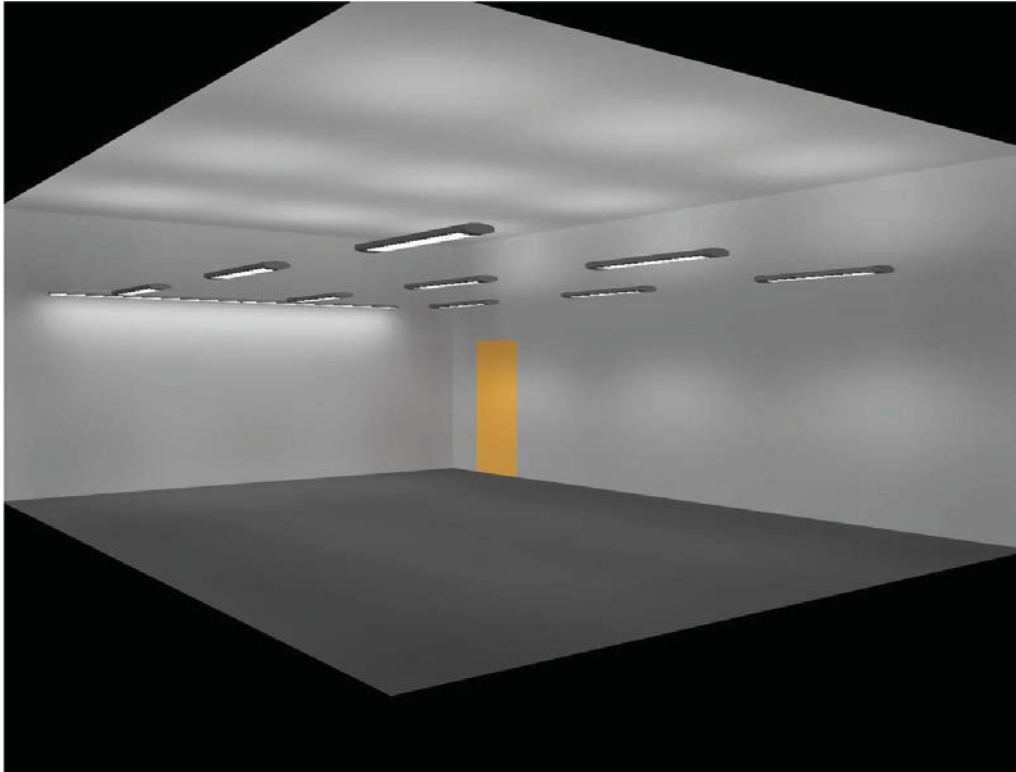


Mittakaava 1 : 66

#### UGR -laskelmapisteluettelo

Numero	Tunnus	Sijainti [m]			Näkökulma [°]	Arvo
		X	Y	Z		
1	UGR-laskelmapiste 11	2.704	5.456	1.200	0.0	19
2	UGR-laskelmapiste 12	5.936	5.463	1.200	0.0	17
3	UGR-laskelmapiste 13	5.910	3.257	1.200	0.0	19
4	UGR-laskelmapiste 14	2.656	3.250	1.200	0.0	19
5	UGR-laskelmapiste 15	2.724	1.038	1.200	0.0	19
6	UGR-laskelmapiste 16	5.897	1.065	1.200	0.0	18
7	UGR-laskelmapiste 17	7.991	5.456	1.200	0.0	19
8	UGR-laskelmapiste 18	0.647	5.469	1.200	0.0	12
9	UGR-laskelmapiste 19	0.651	3.257	1.200	0.0	12
10	UGR-laskelmapiste 20	0.651	1.085	1.200	0.0	11
11	UGR-laskelmapiste 25	8.045	3.250	1.200	0.0	17

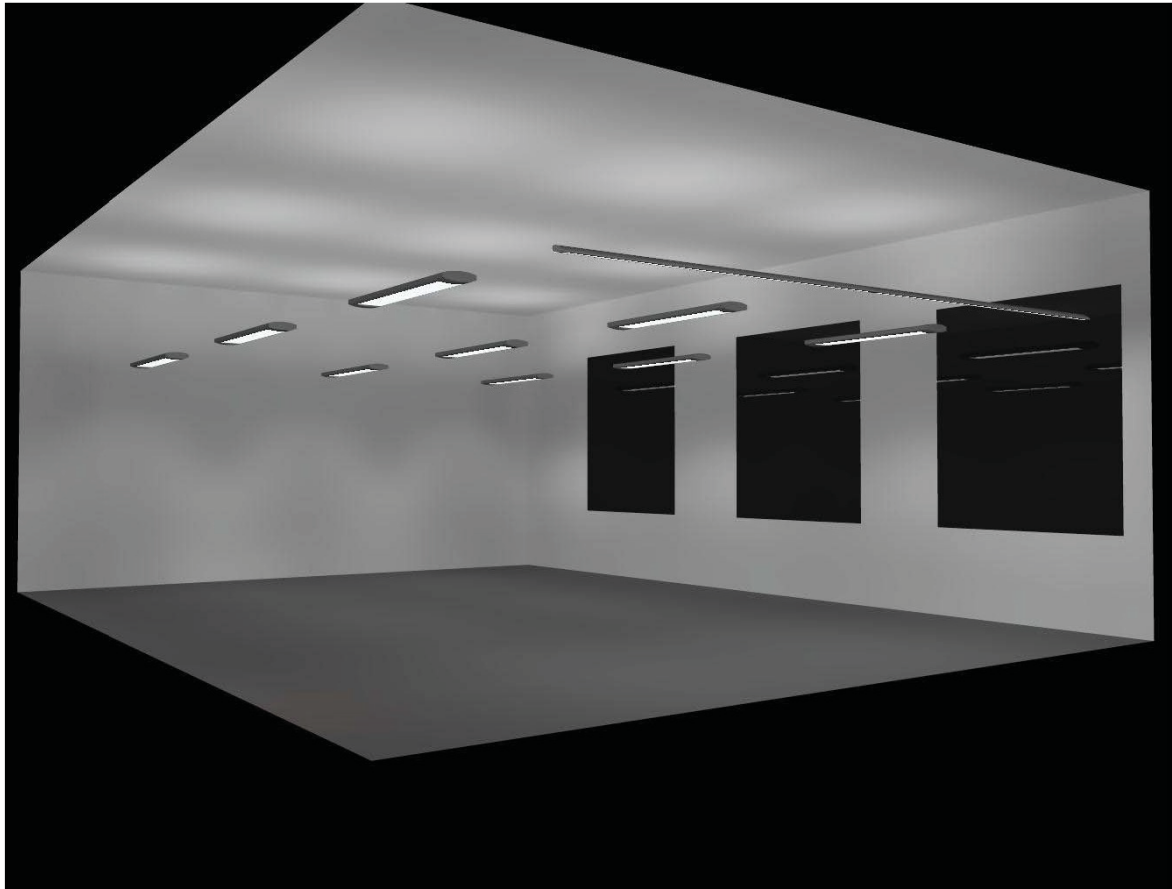
**Luokkahuone 2 x 28 W DTI/ Ray-Trace-esikatselu 1**



**Luokkahuone 2 x 28 W DTI/ Ray-Trace-esikatselu 2**



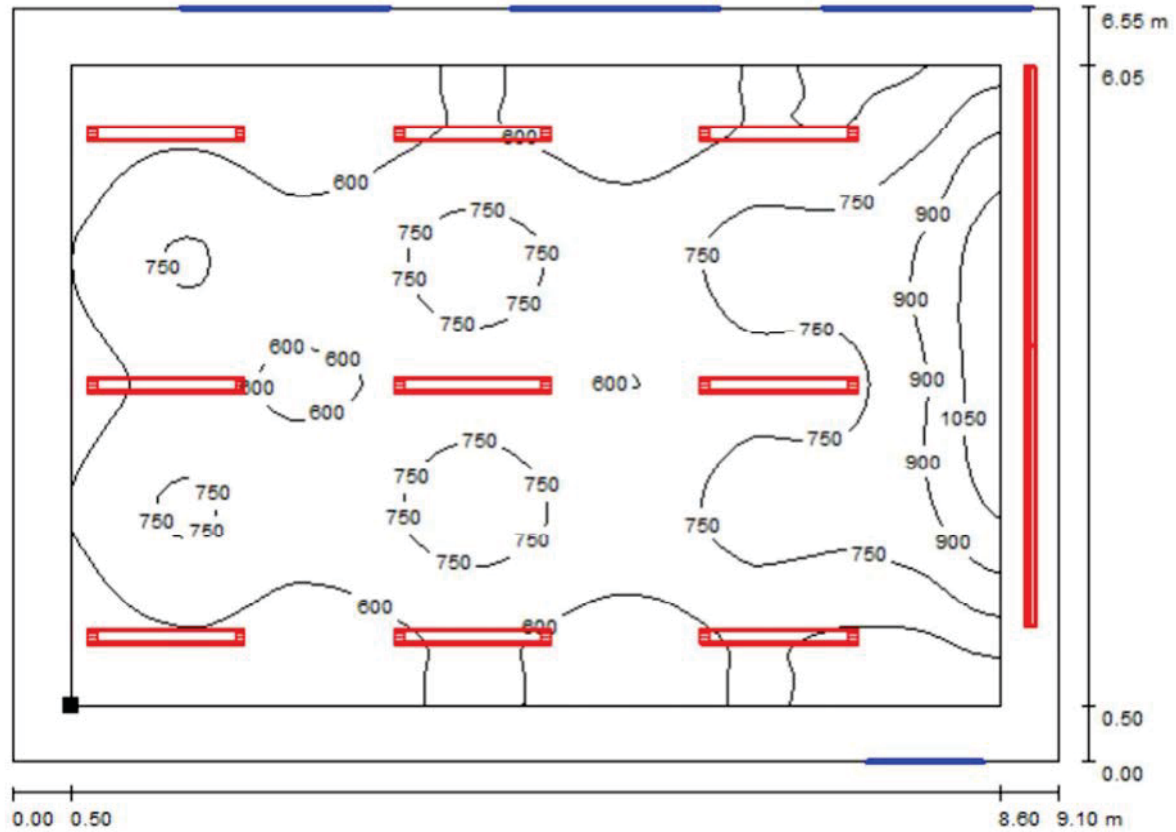
**Luokkahuone 2 x 28 W DTI/ Ray-Trace-esikatselu 3**



**Luokkahuone 2 x 28 W DTI/ Ray-Trace-esikatselu 4**



**Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Käyttötaso / Isolux-käyrät (E)**



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 66

Pinnan sijainti tilassa: Käyttötason 0.500 m Reuna-alue Merkitty piste:  
(0.500 m, 0.500 m, 0.850 m)



Rasteri: 64 x 64 Pisteet

$E_m$  [lx]  
679

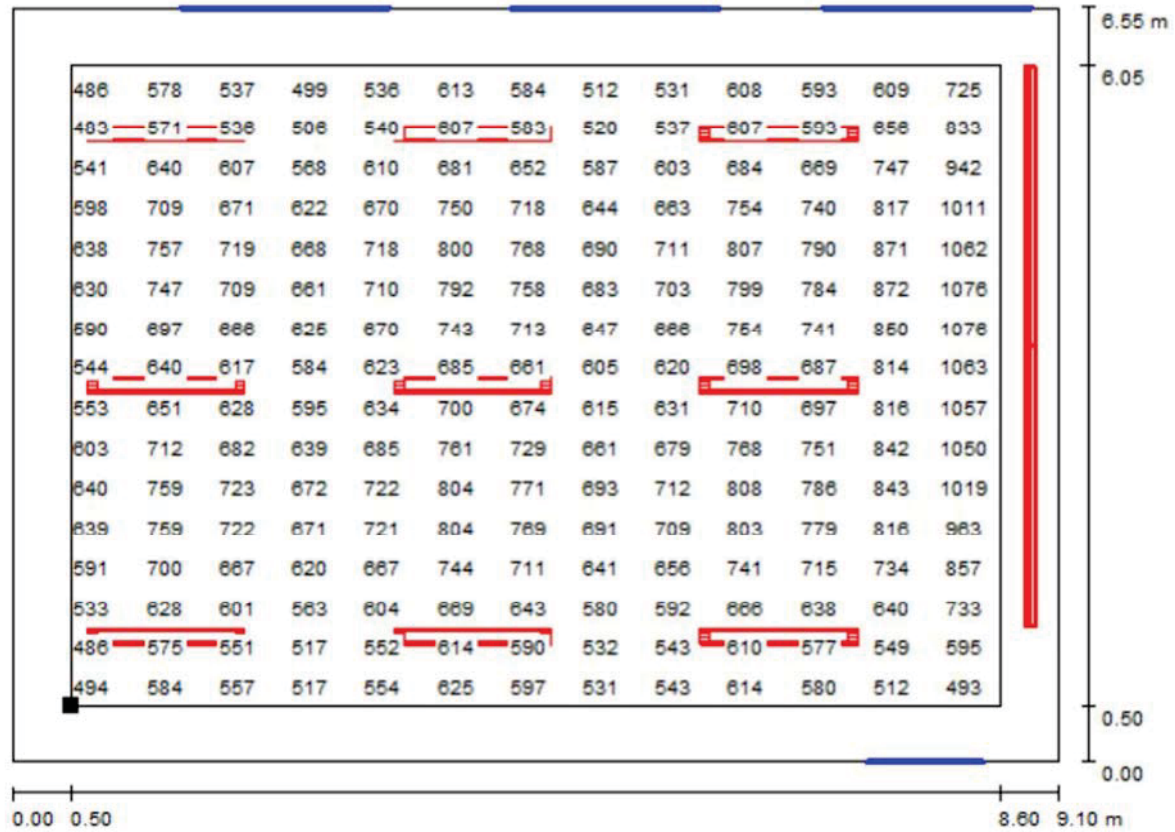
$E_{min}$  [lx]  
452

$E_{max}$  [lx]  
1158

$E_{min} / E_m$   
0.666

$E_{min} / E_{max}$   
0.391

**Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Käyttötaso / Arvokaavio (E)**



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 66

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:  
Käyttötason 0.500 m Reuna-alue  
Merkitty piste:  
(0.500 m, 0.500 m, 0.850 m)



Rasteri: 64 x 64 Pisteet

$E_m$  [lx]  
679

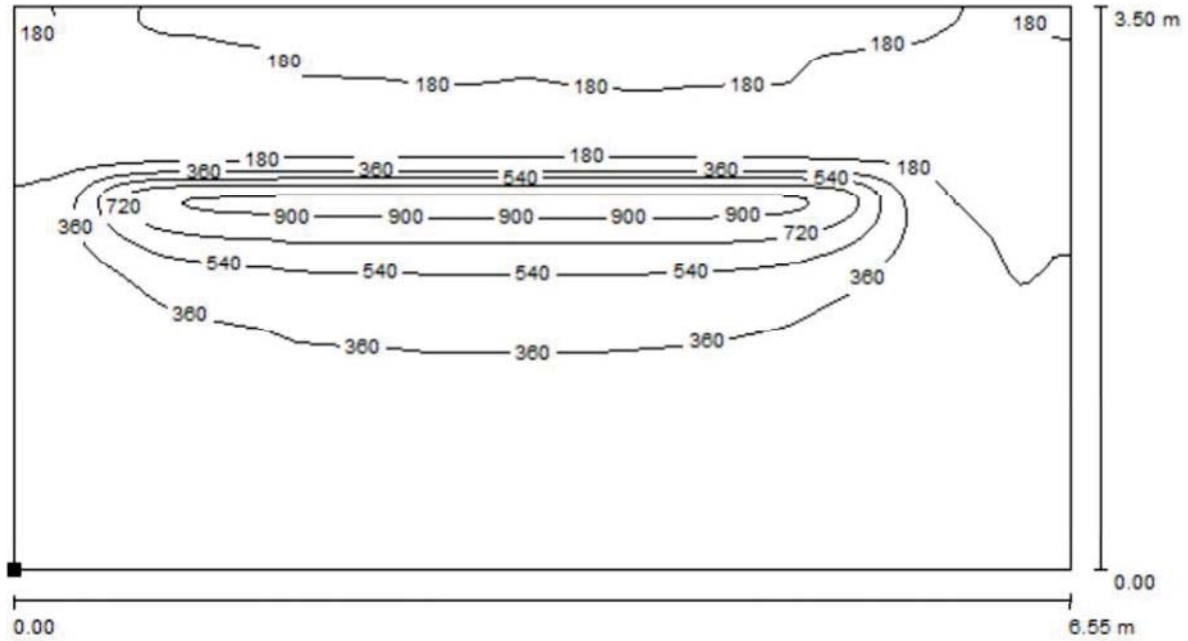
$E_{min}$  [lx]  
452

$E_{max}$  [lx]  
1158

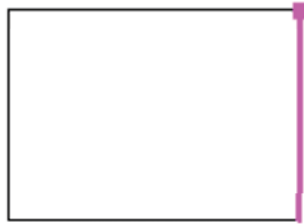
$E_{min} / E_m$   
0.666

$E_{min} / E_{max}$   
0.391

**Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Tauluseinä / Isolux-käyrät (E)**



Pinnan sijainti tilassa:  
Merkitty piste:  
(9.100 m, 6.550 m, 0.000 m)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 47

Rasteri: 128 x 128 Pisteet

$E_m$  [lx]  
316

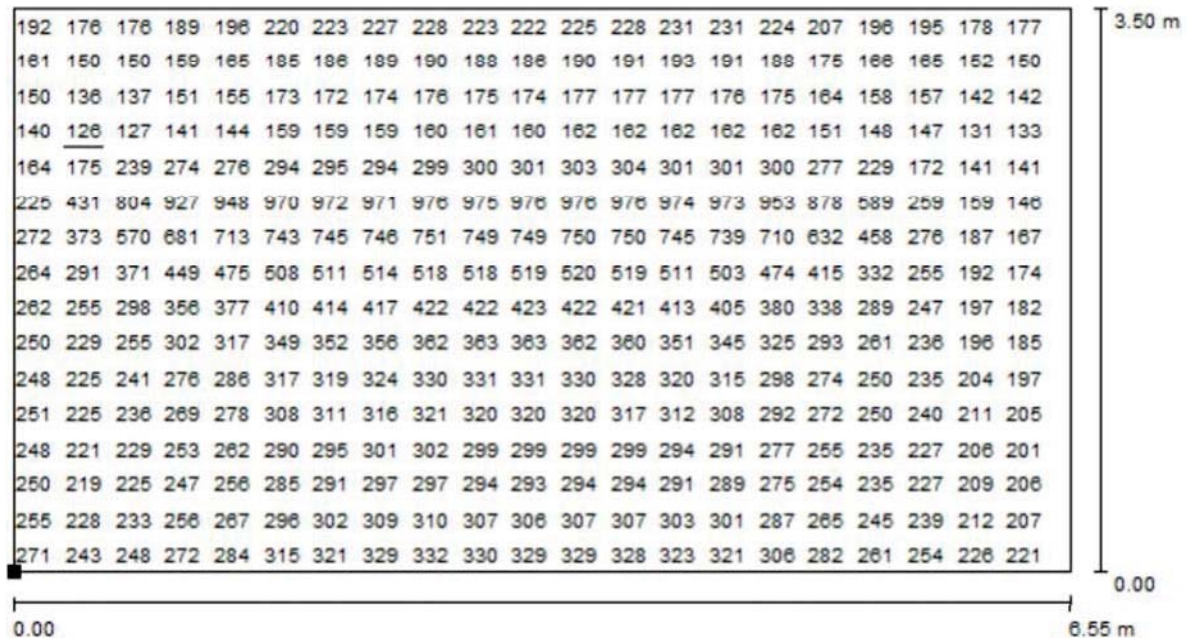
$E_{min}$  [lx]  
126

$E_{max}$  [lx]  
978

$E_{min} / E_m$   
0.399

$E_{min} / E_{max}$   
0.129



**Luokkahuone 2 x 28 W DTI / Tauluseinä / Arvokaavio (E)**

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää. Pinnan sijainti tilassa:

Merkitty piste:

(9.100 m, 6.550 m, 0.000 m)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 47

Rasteri: 128 x 128 Pisteet

$E_m [lx]$	$E_{min} [lx]$	$E_{max} [lx]$	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
316	126	978	0.399	0.129

## LCC-elinkaarikustannuslaskelma

# Aleksis Kiven koulu

Laskentakorko (vertailuarvo)	3,0 %	Pitoaika	20 vuotta
Inflaatio (vertailuarvo)	2,8 %	Energian hinnan kasvu (inflaation...)	4,0 %

**FAGERHULT****Viitteenne**

Nimi	Ville Rautavirta
Sähköposti	
Puhelin	
Yritys	Fagerhult Oy
Osoite	Pasilankatu 14 00240 Helsinki

# Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

## Yleiset tiedot

### Alkuperäinen valaistus

### Wireless e-Sense Connect

Valaisintyyppien lukumäärä

Valaisintyypit

Valaisimien lukumäärä

Valonlähteiden kokonaismäärä

## Investointikustannukset

Valaisinkustannukset yhteensä (ilman lamppuja)

Valonlähdekustannukset yhteensä

Asennuskustannukset yhteensä

Materiaali- ja työkustannukset yhteensä

## Investointi

## Energiakustannukset

Valaistusratkaisun kokonaisteho

Keskimääräinen käyttökerroin

Teho yhteensä

Keskimääräinen toiminta-aika

Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntitehoa)

tyhjäkäyntiteho yhteensä

Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika

Tyhjäkäyntienergian kulutus

Energiankulutus vuodessa

Sähkön hinta 0,1641 EUR/kWh

Energiakustannukset vuodessa

## Energiakustannusten nykyarvo

## Valonlähdekustannukset

Valonlähteiden kokonaismäärä

Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä

## Valonlähdekustannusten nykyarvo

## Liitäntälaitteen kustannukset

Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus

## Liitäntälaittekustannusten nykyarvo

## Huoltokustannukset

Huoltokustannukset yhteensä

## Huoltokustannusten nykyarvo

## Valaistusratkaisun nykyarvo

## Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)

## Tuotto

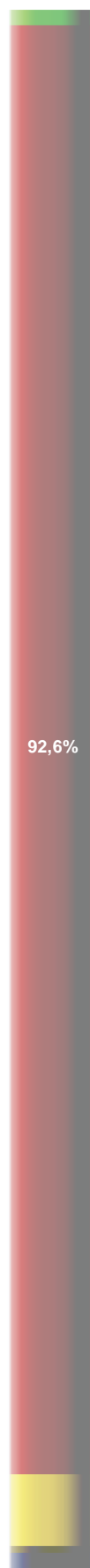
## LENI

1  
15 - 2 x 58 W15  
300 EUR  
170,1 EUR  
0 EUR  
0 EUR  
170 EUR2,1 kW  
100,0 %  
2,1 kW  
2 000 h/vuotta  
4,26 MWh/vuotta  
0,0 W  
- h/vuotta  
0 Wh/vuotta  
4,3 MWh699 EUR  
15 349 EUR30  
260,1 EUR  
762 EUR1 125 EUR  
78 EUR75 EUR  
220 EUR16 579 EUR  
- vuotta  
0 EUR  
~71,0 kWh/m2, vuotta3  
2 - 2 x 28 W Lento  
3 - 2 x 28 W DTI type 2 B  
6 - 2 x 28 W DTI type 2 B11  
222 620,56 EUR  
124,74 EUR  
1 013,13 EUR  
220 EUR  
3 978 EUR660 W  
59,5 %  
393,0 W  
2 000 h/vuotta  
786 kWh/vuotta  
0,11 W  
4 960 h/vuotta  
545,6 Wh/vuotta  
786,5 kWh129 EUR  
2 834 EUR22  
190,74 EUR  
371 EUR744,04 EUR  
38 EUR55 EUR  
107 EUR7 329 EUR  
6,0 vuotta  
9 251 EUR  
~13,1 kWh/m2, vuotta

## Elinkaarikustannusdiagrammi

Alkuperäinen  
valaistus

Wireless e-Sense  
Connect



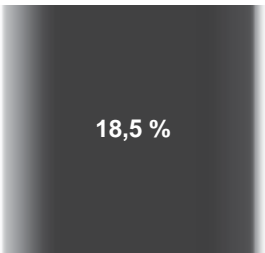
CO<sub>2</sub>-muodostus

Alkuperäinen valaistus



1 768 Kg CO2/vuotta

Wireless e-Sense Connect



326 Kg CO2/vuotta

CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi

Energiankulutus vuodessa

CO<sub>2</sub> kerroin 0,415 Kg CO<sub>2</sub>/KWh

CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi

Alkuperäinen valaistus

4,26 MWh

1 768 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta

Wireless e-Sense Connect

786,55 kWh

326 Kg CO<sub>2</sub>/K